



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

*Козлов А.Н.*

**Учебно-методический комплекс по дисциплине «Автоматика энерго-систем»** для студентов очной формы обучения специальностей 140203.65 - «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» и 140204.65 «Электрические станции». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2012, 69 с.

Учебно-методические рекомендации ориентированы на оказание помощи студентам очной формы обучения специальностей 140203 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» и 140204 «Электрические станции» для формирования специальных знаний о специфике и режимах работы электроэнергетических систем (ЭЭС) и о назначении, принципах действия и особенностях выполнения современных устройств автоматики электроэнергетических систем, обеспечивающих работу ЭЭС во всех режимах.

© ФГБОУ ВПО Амурский государственный университет, 2012

© А.Н. Козлов

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматика электроэнергетических систем» для специальности 140203 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» является основной профилирующей и предусмотрена Государственным образовательным стандартом в разделе специальных дисциплин под шифром СД-03.

Для специальности 140204 «Электрические станции» курс «Автоматика электроэнергетических систем» предусмотрен Государственным образовательным стандартом в качестве одной из дисциплин специализации – шифр ДС-2.

Анализ требований Государственных образовательных стандартов и утвержденной Минобразованием России *Примерной программы дисциплины «Автоматика энергосистем»* для направления подготовки 650900 «Электроэнергетика» показал, что лекции по ряду разделов дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» возможно прочесть для обеих специальностей в общем потоке. При этом для специальности 140203 это будет начальная стадия изучения курса, а для специальности 140204 – продолжение подготовки, начатой в предыдущем семестре при изучении дисциплины «Релейная защита и автоматизация». Эта возможность была реализована при разработке рабочих учебных планов специальностей – общий блок лекций читается в восьмом семестре в объеме 30 часов.

За основу при компоновке учебно-методического комплекса дисциплины взяты материалы, разработанные для специальности 140203, как более полные.

Целью изучения дисциплины как для специальности 140203, так и для специальности 140204 является освоение студентами принципов действия автоматических устройств управления электроэнергетическими объектами, изучение работы и технического выполнения автоматических управляющих устройств, ознакомление с перспективными разработками технических средств автоматического управления. Результат - подготовка инженеров в области автоматического управления режимами работы электроэнергетических систем и противоаварийного управления ими.

**2.1.1. Программа дисциплины, соответствующая требованиям Государственного образовательного стандарта**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Департамента образовательных программ и стандартов профессионального образования

\_\_\_\_\_ Л. С. Гребнев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2001г.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ

Рекомендуется Минобразованием России для направления  
подготовки 650900 -ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА,  
специальности 210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 1. Цели и задачи дисциплины.

Целью изучения дисциплины является подготовка инженеров в области автоматического управления режимами работы электроэнергетических систем и противоаварийного управления ими.

Задачей изучения дисциплины является освоение студентами принципов действия автоматических устройств управления электроэнергетическими объектами.

Изучение и техническое выполнение автоматических управляющих устройств. Ознакомление с перспективными разработками технических средств автоматического управления.

### 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

-знать теоретические основы автоматического управления режимом работы синхронных генераторов (блоков генератор-трансформатор), электростанции в целом и линий электропередачи, а также технические исполнения автоматических управляющих устройств и систем;

-уметь разбираться в функциональных и принципиальных схемах устройств и систем автоматического управления;

-иметь навыки проектирования автоматики управления режимами работы и противоаварийной автоматики, а также навыки математического моделирования функционирования автоматических устройств на ПЭВМ.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		8	9
Общая трудоемкость дисциплины	180	8	9
Аудиторные занятия	85	8	9
Лекции	68	8	9
Лабораторные работы (ЛР)	17	8	9
Самостоятельная работа	95	8	9
Курсовой проект	60		9
Подготовка к ЛР	35		
Вид итогового контроля		Зачет Экзамен	Зачет Экзамен

### 4. Содержание дисциплины.

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ пп	Раздел дисциплины	Лекции	ЛР
1.	Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике.	*	
2.	Основы теории автоматического управления.	*	*
3.	Автоматизированное управление технологическими процессами на ГЭС, ТЭС и АЭС.	*	*
4.	Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем.	*	

Продолжение таблицы

№ пп	Раздел дисциплины	Лекции	ЛР
5.	Основные принципы построения противоаварийной автоматики.	*	
6.	Основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы.	*	*

4.2. Содержание разделов дисциплины.

4.2.1. Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике.

Специфические особенности процесса производства и распределения электроэнергии, обуславливающие необходимость автоматического управления. Автоматическое управление как информационный процесс.

Автоматическая система управления процессом производства и передачи электроэнергии как взаимодействующая совокупность автоматических управляющих устройств.

Осуществление автоматической системы управления электроэнергетикой на основе цифровой вычислительной техники.

4.2.2. Основы теории автоматического управления.

Теория информации как теоретическая основа автоматического управления. Основные ее положения.

Непрерывное автоматическое управление нормальным режимом работы электроэнергетической системы – автоматическое регулирование и дискретное автоматическое управление в аварийных ситуациях – противоаварийное управление.

Основные положения теории автоматического регулирования.

Структурные звенья автоматической системы регулирования, различаемые по их динамическим свойствам.

Устойчивость функционирования замкнутой автоматической системы регулирования.

Критерии устойчивости ее функционирования.

Показатели качества автоматического регулирования и способы их улучшения.

Алгоритмы автоматического регулирования.

Основные положения теории дискретного управления.

4.2.3. Автоматическое управление технологическими процессами на ГЭС, ТЭС и АЭС.

Автоматическое управление изменением состояний гидро- и турбогенераторов. Типовые алгоритмы автоматического управления пуском и остановом гидрогенераторов ГЭС.

Сложность технологических процессов пуска и останова турбогенераторов ТЭС. Комплекс автоматических устройств дискретного и непрерывного действия управления пуском и остановом турбогенераторов.

Особенности автоматического управления пуском и остановом турбогенераторов АЭС.

Автоматическое управление подготовкой к включению и включением синхронных генераторов на параллельную работу. Автоматические синхронизаторы.

Автоматическое регулирование частоты вращения и активной мощности синхронных генераторов.

Реализация оптимального распределения мощности электростанции между параллельно работающими синхронными генераторами.

Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов.

Автоматизированная система управления (АСУ) частоторегулирующей ГЭС. Ее функциональная схема и реализация на основе цифровой вычислительной техники.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) тепловых и атомных электростанций.

*4.2.4. Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем.*

Основные задачи и особенности автоматического регулирования частоты и активной мощности, напряжения и реактивной мощности в электроэнергетической системе (ЭЭС).

Автоматическое регулирование частоты и оптимальное управление активной мощностью как основная задача АСУ ЭЭС.

Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС.

Особенности автоматического регулирования реактивной мощности реверсивных статических компенсаторов (СТК).

Значение автоматического регулирования коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов (АРКТ).

Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью ЭЭС, ОЭС и ЕЭС в целом.

*4.2.5. Основные принципы построения противоаварийной автоматики.*

Пирамидальное построение противоаварийной автоматики:

автоматика ликвидации возмущающих воздействий – автоматика повторного включения (АПВ) отключенных релейной защитой электроэнергетических объектов и включения резервных источников питания (АВР);

автоматика предотвращения нарушения динамической или статической устойчивости (АПНУ);

автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР);

делительная автоматика (ДА);

автоматика предотвращения недопустимых изменений параметров режима ЭЭС – ограничений снижений или повышений частоты (АОСЧ, АОПЧ) и напряжения (АОСН, АОПН).

Техническая реализация АПНУ и АЛАР на интегральной микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе.

*4.2.6. Основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы.*

Аналоговый и микропроцессорные автоматические синхронизаторы синхронных генераторов с вычисляемым углом опережения.

Микропроцессорная электрическая часть автоматической системы регулирования (ЭЧСР) частотой вращения и активной мощностью турбогенераторов.

Аналого-цифровой и микропроцессорный автоматические регуляторы возбуждения «сильного действия» синхронных генераторов с безщеточным и тиристорным возбуждением.

Аналоговый и цифровой автоматические регуляторы возбуждения асинхронизированного генератора.

Микропроцессорная автоматическая система управления и защиты СТК (САУЗ).

Цифровой автоматический регулятор напряжения трансформаторов и автотрансформаторов с УРПН.

Интегральные микропроцессорные устройства противоаварийной автоматики, программно выполняющие функции АПВ, АВР, АЧР основного вида АОСЧ и частотного АПВ.

Программная функция однофазного АПВ (ОАПВ) линий сверхвысокого напряжения.

Программно-технический комплекс автоматического дозирования (АДВ) и запоминания (АЗД) противоаварийных управляющих воздействий АПНУ.  
Микропроцессорная реализация АЛАР.

*5. Лабораторный практикум.*

№ пп	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	2	Структурные звенья автоматических систем регулирования.
2	3	Автоматические синхронизаторы синхронных генераторов.
3	6	Автоматические регуляторы частоты вращения и активной мощности синхронных генераторов.
4	6	Автоматические регуляторы напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов.
5	6	Автоматическое повторное включение линий электропередач.

*6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.*

*6.1. Рекомендуемая литература.*

*а). Основная литература*

1. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. Учебник для вузов/ Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 504 с.: ил.
2. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем. Учебн. пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 204 с.: ил.

*б). Дополнительная литература*

1. Окин А.А., Семенов В.А. Противоаварийное управление в ЕЭС России/ Под ред. А.Ф. Дьякова. – Издательство МЭИ, 1996. – 156 с.: ил.
2. История электротехники/ Под ред. И.А. Глебова. – Издательство МЭИ, 1999. – 524 с.: ил.
3. Электротехнический справочник. В 3-х т. Т.3. Производство и распределение электроэнергии/ Под общ. Ред. Профессоров МЭИ. 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2000.

*6.2. Средства обеспечения освоения дисциплины.*

Обучающие и контролируемые компьютерные программы:  
Устойчивость функционирования замкнутых автоматических систем регулирования.  
Микропроцессорный автоматический синхронизатор.  
Тренажер по противоаварийному управлению.

*7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.*

Специализированная учебная лаборатория по автоматическим управляющим устройствам энергосистем.  
Дисплейный класс ПЭВМ.

*8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины*

По усмотрению вуза.



Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА подготовки инженеров специальности 210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Программу составил  
Овчаренко Н.И., профессор , МЭИ (ТУ)

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по специальности 210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Председатель Учебно-методической комиссии по специальности  
210400 – РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

\_\_\_\_\_ А. Ф. Дьяков

Программа одобрена на заседании Учебно-методического совета по направлению 650900 - ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА  
от « 15 » декабря 2000 г.      Протокол № 3

Председатель Учебно-методического совета  
по направлению 650900 -ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

\_\_\_\_\_ В. В. Жуков

Председатель Совета УМО по образованию в области  
энергетики

\_\_\_\_\_ Е. В. Аметистов

**2.1.2. Рабочая программа дисциплины:  
- для специальности 140203:**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ В.В. Проказин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

***Автоматика электроэнергетических систем***

по специальности **140203.65 – Релейная защита и автоматизация  
электроэнергетических систем**

Квалификация (степень) выпускника				<b>специалист</b>
Специальное звание				
Курс	<b>4, 5</b>	Семестр	<b>8, 9</b>	
Лекции		Семестр <b>8</b>	<b>30</b> (час.)	Экзамен - <b>8 семестр</b>
		Семестр <b>9</b>	<b>28</b> (час.)	Экзамен - <b>9 семестр</b>
Практические занятия		Семестр <b>8</b>	<b>15</b> (час.)	
		Семестр <b>9</b>	<b>14</b> (час.)	
Лабораторные занятия		Семестр <b>9</b>	<b>14</b> (час.)	
Самостоятельная работа		Семестр <b>9</b>	<b>37</b> (час.)	КСР <b>30</b> (час.)
Общая трудоемкость дисциплины		<b>168</b> (час.),	в т.ч. ауд.	<b>101</b> (час.)
Курсовая работа		Семестр <b>9</b>		
Составитель	<b><i>А.Н. Козлов, доцент, канд. тех. наук</i></b>			
Факультет	<b><i>энергетический</i></b>			
Кафедра	<b><i>энергетики</i></b>			

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 140200 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики  
« 29 » июня 2012г., протокол № 13

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методического совета направления подготовки дипломированного специалиста 140200 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

« 29 » июня 2012г., протокол № 13

Председатель \_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов  
(подпись, И.О.Ф)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от \_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись, дата) \_\_\_\_\_ И.О.Ф.

СОГЛАСОВАНО  
Учебно-методическое  
управление

\_\_\_\_\_  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

СОГЛАСОВАНО  
Председатель учебно-методического  
совета факультета  
\_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов  
« 29 » июня 2012г.

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий выпускающей кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов

« 29 » июня 2012г.

СОГЛАСОВАНО  
Директор научной библиотеки  
\_\_\_\_\_ Л.А. Проказина

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

*Цель дисциплины - вооружить будущих инженеров знаниями и умениями, позволяющими при проектировании объектов электроэнергетических систем, а также в процессе их эксплуатации обоснованно применять алгоритмы автоматического управления режимами работы электроэнергетических систем и противоаварийного управления ими.*

*Основные задачи дисциплины - освоение студентами принципов действия автоматических устройств управления электроэнергетическими объектами; изучение и техническое выполнение автоматических управляющих устройств; ознакомление с перспективными разработками технических средств автоматического управления.*

Базовыми для данной дисциплины являются курсы «Переходные процессы в электрических системах», «Электрическая часть станций и подстанций» и «Теория автоматического управления».

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:

Дисциплина «Автоматика электроэнергетических систем» является основной профилирующей дисциплиной специальности 140203 и предусмотрена Государственным образовательным стандартом в разделе специальных дисциплин под шифром СД.Ф.03.

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», «Теория автоматического управления», «Программирование и применение ЭВМ».

### 2.1 Содержание дисциплины СД.Ф.03 «Автоматика электроэнергетических систем» согласно ГОС ВПО по направлению 650900:

принципы построения систем автоматического управления в электроэнергетике; основы теории автоматического управления; автоматическое управление технологическими процессами на ТЭС, ГЭС, АЭС; автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем; основные принципы построения противоаварийной автоматики; основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

*В результате изучения дисциплины студенты должны:*

- **знать** теоретические основы автоматического управления режимом работы синхронных генераторов (блоков генератор-трансформатор), электростанции в целом, основного электрооборудования подстанций и линий электропередачи, а также техническое исполнение автоматических управляющих устройств и систем;

- **уметь** разбираться в функциональных и принципиальных схемах устройств и систем автоматического управления;

- **владеть навыками** проектирования автоматики управления режимами работы и противоаварийной автоматики, а также навыки математического моделирования функционирования автоматических устройств на ПЭВМ.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 168 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы				Формы текущего контроля
		Лек-ции (час.)	Практ. занят. (час.)	Лабор. работы (час.)	СРС (час.)	
<i>Семестр 8</i>						
1	<b>Раздел 1 «Автоматические системы управления в электроэнергетике»</b> 1.1 Введение 1.2 Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике 1.3 Основы теории автоматического управления 1.4 Основные положения теории автоматического регулирования 1.5 Устойчивость функционирования замкнутой автоматической системы регулирования	12	4		10	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
2	<b>Раздел 2 «Автоматическое управление технологическими процессами на электрических станциях»</b> 2.1 Автоматическое управление технологическими процессами на ТЭС, ГЭС, АЭС 2.2 Включение агрегатов на параллельную работу 2.3 Управление частотой и активной мощностью в ЭЭС 2.4 Регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС 2.5 Автоматизированные системы управления технологическими процессами	10	6		5	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
3	<b>Раздел 3 «Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»</b> 3.1 Особенности регулирования частоты и активной мощности в ЭЭС 3.2 Способы регулирования напряжения на объектах ЭЭС 3.3 Цифровые технологии в энергетике	8	5		3	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
<i>Семестр 9</i>						
4	<b>Раздел 4 «Противоаварийная автоматика ЭЭС»</b> 4.1 Структура противоаварийной автоматики (ПА) 4.2 Техническая реализация ПА	12	10	6	9	Отчеты по выполнению практических работ. Отчеты по выполнению лабораторных работ.

5	<p><b>Раздел 5 «Основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы»</b></p> <p>5.1 Системы регулирования частоты вращения синхронных генераторов</p> <p>5.2 Системы регулирования возбуждения СГ</p> <p>5.3 Регулирование напряжения на подстанциях</p> <p>5.4 Перспективные устройства противоаварийной автоматики</p> <p>5.5 Дозирование управляющих воздействий ПА</p>	16	4	8	10	<p>Отчеты по выполнению практических работ.</p> <p>Отчеты по выполнению лабораторных работ.</p> <p>Выполнение и защита курсовой работы</p>
---	--	----	---	---	----	--

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 ЛЕКЦИИ

#### Семестр 8

#### **Раздел 1 «Автоматические системы управления в электроэнергетике»**

**Тема 1. Введение.** Специфические особенности процесса производства и распределения электроэнергии, обуславливающие необходимость автоматического управления. Автоматическое управление как информационный процесс. Рекомендуемая литература.

**Тема 2. Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике.** Автоматическая система управления процессом производства и передачи электроэнергии как взаимодействующая совокупность автоматических управляющих устройств. Осуществление автоматической системы управления электроэнергетикой на основе цифровой вычислительной техники.

**Тема 3. Основы теории автоматического управления.** Теория информации как теоретическая основа автоматического управления. Основные ее положения. Непрерывное автоматическое управление нормальным режимом работы электроэнергетической системы – автоматическое регулирование и дискретное автоматическое управление в аварийных ситуациях – противоаварийное управление.

**Тема 4. Основные положения теории автоматического регулирования.** Структурные звенья автоматической системы регулирования, различаемые по их динамическим свойствам.

**Тема 5. Устойчивость функционирования замкнутой автоматической системы регулирования.** Критерии устойчивости ее функционирования. Показатели качества автоматического регулирования и способы их улучшения. Алгоритмы автоматического регулирования. Основные положения теории дискретного управления.

#### **Раздел 2 «Автоматическое управление технологическими процессами на электрических станциях»**

**Тема 6. Автоматическое управление технологическими процессами на ТЭС, ГЭС, АЭС.** Типовые алгоритмы автоматического управления пуском и останом гидротурбогенераторов ГЭС. Сложность технологических процессов пуска и останова турбогенераторов ТЭС. Комплекс автоматических устройств дискретного и непрерывного действия управления пуском и останом турбогенераторов. Особенности автоматического управления пуском и останом турбогенераторов АЭС.

**Тема 7. Включение агрегатов на параллельную работу.** Автоматическое управление подготовкой к включению и включением синхронных генераторов на параллельную работу. Автоматические синхронизаторы.

**Тема 8. Управление частотой и активной мощностью в ЭЭС.** Автоматическое регулирование частоты вращения и активной мощности синхронных генераторов. Реализация оптимального распределения мощности электростанции между параллельно работающими синхронными генераторами.

**Тема 9. Регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС.** Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов.

**Тема 10. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.** Автоматизированная система управления (АСУ) частоторегулирующей ГЭС. Ее функциональная схема и реализация на основе цифровой вычислительной техники. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) тепловых и атомных электростанций.

**Раздел 3 «Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»**

**Тема 11. Особенности регулирования частоты и активной мощности в ЭЭС.** Основные задачи и особенности автоматического регулирования частоты и активной мощности, напряжения и реактивной мощности в электроэнергетической системе (ЭЭС).

*Автоматическое регулирование частоты и оптимальное управление активной мощностью как основная задача АСУ ЭЭС.*

**Тема 12. Способы регулирования напряжения на объектах ЭЭС.** Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС. Особенности автоматического регулирования реактивной мощности реверсивных статических компенсаторов (СТК). Значение автоматического регулирования коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов (АРКТ).

**Тема 13. Цифровые технологии в энергетике.** Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью ЭЭС, ОЭС и ЕЭС в целом.

**Семестр 9**

**Раздел 4 «Противоаварийная автоматика ЭЭС»**

**Тема 14. Структура противоаварийной автоматики (ПА).** Основные принципы построения противоаварийной автоматики. Группы ПА:

- автоматика предотвращения нарушения динамической или статической устойчивости (АПНУ);
  - автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР), делительная автоматика (ДА);
  - автоматика предотвращения недопустимых изменений параметров режима ЭЭС – ограничений снижений или повышений частоты (АОСЧ, АОПЧ) и напряжения (АОСН, АОПН).
- автоматика повторного включения (АПВ) отключенных релейной защитой электроэнергетических объектов и включения резервных источников питания (АВР);

**Тема 15. Техническая реализация ПА.** АПНУ и АЛАР на интегральной микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе.

**Раздел 5 «Основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы»**

**Тема 16. Системы регулирования частоты вращения синхронных генераторов.** Аналоговый и микропроцессорные автоматические синхронизаторы синхронных генераторов с вычисляемым углом опережения. Микропроцессорная электрическая часть автоматической системы регулирования (ЭЧСР) частотой вращения и активной мощностью турбогенераторов.

**Тема 17. Системы регулирования возбуждения СГ.** Аналого-цифровой и микропроцессорный автоматические регуляторы возбуждения «сильного действия» синхронных генераторов с бесщеточным и тиристорным возбуждением. Аналоговый и цифровой автоматические регуляторы возбуждения асинхронизированного генератора.

**Тема 18. Регулирование напряжения на подстанциях.** Микропроцессорная автоматическая система управления и защиты СТК (САУЗ). Цифровой автоматический регулятор напряжения трансформаторов и автотрансформаторов с УРПН.

**Тема 19. Перспективные устройства противоаварийной автоматики.** Интегральные микропроцессорные устройства противоаварийной автоматики, программно выполняющие функции АПВ, АВР, АЧР основного вида АОСЧ и частотного АПВ. Программная функция однофазного АПВ (ОАПВ) линий сверхвысокого напряжения.

**Тема 20. Дозирование управляющих воздействий ПА.** Программно-технический комплекс автоматического дозирования (АДВ) и запоминания (АЗД) противоаварийных управляющих воздействий АПНУ. Микропроцессорная реализация АЛАР.

**5.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

На практических занятиях решаются задачи по выбору параметров срабатывания и проверки чувствительности устройств автоматики. Должны быть рассмотрены:

- 3.1. Расчет параметров синхронизатора с постоянным углом опережения
- 3.2. Расчет параметров синхронизатора с постоянным временем опережения
- 3.3. Расчет параметров устройства АРКТ
- 3.4. Расчет допустимости несинхронного АПВ и других видов повторного включения.

- 3.5. Расчет уставок автоматического включения резерва (АВР).
- 3.6. Расчет параметров автоматической частотной разгрузки (АЧР).
- 3.7. Расчет параметров АОСЧ, АОПЧ
- 3.8. Расчет параметров АОСН, АОПН

### 5.3 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

На лабораторных занятиях закрепляются теоретические знания студентов, полученные на лекциях, а также формируются навыки по чтению схем устройств автоматики. При подготовке к выполнению лабораторных работ студенты изучают принципы действия и техническое выполнение устройств и производят расчеты параметров их настройки. В лаборатории производится анализ работы схем в различных режимах работы.

В рамках часов отведенных эти занятия, могут быть выполнены следующие лабораторные работы:

- 4.1. Автоматическое включение резервного питания.
- 4.2. Полуавтоматическая синхронизация генераторов
- 4.3. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)
- 4.4. Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)
- 4.5. Автоматическое повторное включение (АПВ) линий
- 4.6. АПВ шин
- 4.7. Делительная автоматика
- 4.8. Устройство резервирования отказов выключателей (УРОВ)

### 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 8</i>			
1	<b>Раздел 1 Автоматические системы управления в электроэнергетике»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	10
2	<b>Раздел 2 Автоматическое управление технологическими процессами на электрических станциях»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	5
3	<b>Раздел 3 Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	3
<i>Семестр 9</i>			
4	<b>Раздел 4 «Противоаварийная автоматика ЭЭС»</b>	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Подготовка отчетов по выполнению практических работ. Выполнение курсовой работы	9
5	<b>Раздел 5 «Основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы»</b>	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Подготовка отчетов по выполнению практических работ. Выполнение и защита курсовой работы	10



## 6.1. КУРСОВАЯ РАБОТА

Примерная тема курсовой работы: «Расчёт и выбор устройств автоматики электроэнергетических систем».

Целью курсовой работы является освоение, в основном – самостоятельно – принципов выбора аппаратуры и расчета параметров устройств автоматики – определения уставок, определения допустимости установки рассматриваемых видов автоматики. Обязательным приложением к пояснительной записке по курсовой работе является один-два листа графической части. Пример задания на курсовой проект приведен ниже:

Пример задания на курсовую работу по автоматике для специальности 140203:

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»  
Кафедра энергетики

Задание на курсовую работу по дисциплине  
"Автоматика электроэнергетических систем"

Курс: пятый  
Специальность: 140203  
Группа: 746  
Студент: *Соломатин В.В.*

Дата защиты курсовой работы:  
**01 декабря 2011 г.**

### Исходные данные:

1. Схема Амурской электроэнергетической системы;
2. Данные о токах короткого замыкания на объектах энергосистемы;
3. Потоки мощности и уровни напряжения в сетях 110 кВ и выше энергосистемы.

### Объем работы:

1. Для участка сети 220 кВ ПС «Тында» – ПС «Хорогочи» и для подстанции «Хорогочи» выбрать необходимые устройства автоматики и рассчитать уставки этих устройств.
2. Привести электрические схемы рассчитанных защит и устройств автоматики

Алгоритм выбора и расчета защит и устройств автоматики:

- В соответствии с ПУЭ произвести предварительный выбор устройств автоматики.
- Из исходных данных выбрать необходимые токи КЗ и рассчитать недостающие параметры.
- Рассчитать уставки, принять решение об установке, либо об отказе в установке соответствующего устройства.

*Задание подшивается в пояснительную записку после титульного листа.*

*Исходные данные – в приложение к пояснительной записке.*

*Графическая часть курсового проекта (выполняется на одном-двух листах формата А1): поясняющая схема, цепи тока и напряжения, оперативные цепи устройств автоматики, сигнальные цепи, цепи отключения и схема управления выключателем.*

Руководитель курсовой работы \_\_\_\_\_ Козлов А.Н.

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наилучшей гарантией глубокого и прочного усвоения дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» является заинтересованность студентов в приобретении знаний. Поэтому для поддержания интереса студентов к материалу дисциплины необходимо использовать различные об-

разовательные технологии и задействовать все атрибуты процесса научного познания.

При преподавании дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» используется технология блочного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением раздела обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал раздела.

При выполнении практических и лабораторных работ используется прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы имитирует реальное событие; с преподавателем обсуждаются цели работы и ход ее выполнения; при защите работы - обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения лабораторной работы.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

*В процессе изучения дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:*

- *экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;*
- *выполнение и защита отчетов по практическим занятиям и лабораторным работам.*

### **8.1. Подготовка конспектов по темам на самостоятельное изучение**

1. *Фильтры симметричных составляющих для схем с операционными усилителями и микропроцессорных терминалов*
2. *Высокочастотная обвязка воздушных линий электропередачи*
3. *Автоматическая разгрузка трансформаторов*
4. *Схемы управления коммутационной аппаратурой*
5. *УРОВ.*
6. *Дополнительная местная разгрузка*

### **8.2 Экзаменационные вопросы**

*Семестр 8 – летняя сессия*

1. *Классификация устройств автоматики*
2. *Возможные варианты развития аварийного процесса*
3. *Назначение и принципы выполнения УРОВ*
4. *Особенности работы схем УРОВ при различном исполнении распределительных устройств*
5. *Система противоаварийного управления в электроэнергетических системах*
6. *Регуляторы скорости турбин*
7. *Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)*
8. *Автоматическое регулирование возбуждения генераторов (АРВ) – назначение*
9. *Токовое компаундирование*
10. *Корректор напряжения*
11. *Фазовое компаундирование*
12. *АРВ генераторов с ВЧ-возбуждением*
13. *АРВ сильного действия (АРВ СД)*
14. *Автоматическое регулирование коэффициентов трансформации силовых трансформаторов (АРКТ)*
15. *Автоматическое включение генераторов на параллельную работу*
16. *Устройства автоматической и полуавтоматической самосинхронизации*
17. *Устройство точной синхронизации с постоянным углом опережения*
18. *Устройство точной синхронизации с постоянным временем опережения*
19. *Синхронизаторы на микропроцессорной базе*
20. *Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью*

*Семестр 9 – зимняя сессия*

1. Система противоаварийного управления в электроэнергетических системах
2. Регуляторы скорости турбин
3. Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)
4. Автоматическое повторное включение (АПВ) – обоснование использования. Требования к схемам
5. Однократное и двукратное трехфазное АПВ
6. АПВ на ВЛ с двусторонним питанием
7. АПВ на переменном оперативном токе
8. Однофазное АПВ
9. Автоматическое включение резерва (АВР) - обоснование использования. Требования к схемам
10. АВР силового трансформатора
11. АВР трансформатора собственных нужд
12. АВР шин с синхронным двигателем
13. Автоматика предотвращения нарушения динамической или статической устойчивости (АПНУ)
14. Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР);
15. Делительная автоматика (ДА);
16. Автоматика ограничения снижений или повышений частоты (АОСЧ, АОПЧ)
17. Автоматика ограничения снижений или повышений напряжения (АОСН, АОПН)
18. Программно-технический комплекс автоматического дозирования (АДВ) и запоминания (АЗД) противоаварийных управляющих воздействий АПНУ
19. Микропроцессорная реализация АЛАР
20. Микропроцессорная реализация основных видов автоматики.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

### **а) основная литература:**

1. Овчаренко, Николай Ильич. Автоматика энергосистем [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / Н. И. Овчаренко ; под ред. А. Ф. Дьякова, 2009. - 476 с.
2. Дьяков, Анатолий Федорович. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем [Текст] : Учеб. пособие: рек. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко, изд 2-е, стереотип., 2010. - 336 с.
3. Андреев, Василий Андреевич. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / В. А. Андреев, 2008. - 640 с.
4. Беляков, Юрий Павлович. Релейная защита и автоматика электрических систем [Текст] : Учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. П. Беляков, А. Н. Козлов, Ю. В. Мясоедов, 2007. - 157 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.
2. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199с
3. Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2002. – 88 с.
4. Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2004. – 136 с.
5. Козлов, Александр Николаевич. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] : лаб. практикум. Ч. 3 : Электроавтоматика / А. Г. Ротачева, 2006. - 92 с.
6. Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2006. – 120 с.
7. Гуревич, Юрий Ефимович. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах [Текст] / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, А. А. Окин, 1990. - 390 с.
8. Дудченко, Леонид Николаевич. Управление частотой и активной мощностью в энергообъединении [Текст] : учеб. пособие: рек. ДВ. РУМЦ / Л. Н. Дудченко, 1999. - 116 с.

9. Дудченко, Леонид Николаевич. Регулирование частоты и активной мощности в энергосистеме (маловозмущенное движение) [Текст] : препринт / Л. Н. Дудченко, 1995. - 74 с.
10. Морозкин В.П. Противоаварийная автоматика электроэнергетических систем [Текст] : Задачи и упражнения. Учеб. пособие / Морозкин В.П., 1998. - 32с.
11. Беркович, Михаил Арнольдович. Автоматика энергосистем [Текст] : учеб. / М. А. Беркович, В. А. Гладышев, В. А. Семенов, 1985. - 208 с.
12. Автоматика энергосистем [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140203-Релейная защита и автоматизация электрических систем, 140204-Электрические станции / АмГУ, Эн.ф., 2007. - 68 с.
13. Автоматика энергосистем [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140203, 140204 / АмГУ, Эн.ф., 2007. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM)

**в) периодические издания:**

1. «Электричество».
2. «Электрические станции».
3. «Энергетик».
4. «Промышленная энергетика».
5. «Электротехника».
6. «Электрика».
7. «Энергохозяйство за рубежом».
8. «Electrical Power and Energy Systems».
9. «IEEE Transactions. Power systems».
10. «Energy Policy».
11. «Вестник ИГЭУ».
12. «Вестник Московского энергетического института».
13. «Известия вузов. Электромеханика».
14. «Известия РАН. Энергетика».
15. «Новости электротехники»
16. «Амурский дилижанс».
17. «Вестник Амурского государственного университета».
18. «Энергетика. Сводный том».
19. «Электротехника. Сводный том»

**г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.iqlib.ru/">http://www.iqlib.ru/</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.

**10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ  
«АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

№ п/п	Наименование лабораторий, ауд.	Основное оборудование
1	2	3
1	508 (6) Лаборатория релейной защиты	Лабораторный комплекс на базе стендов производства ООО Инженерно-производственный центр «Учебная техника», г. Челябинск, на котором выполняются лабораторные работы: - автоматическое включение резервного питания; - полуавтоматическая синхронизация генераторов; - автоматическая частотная разгрузка (АЧР); - автоматическое повторное включение (АПВ) линий; - АПВ шин; - делительная автоматика
2	107 (6) Высоковольтная лаборатория	Учебное распределительное устройство 10 кВ, в состав которого входят комплекты релейной защиты и автоматики: - секционного выключателя; - отходящей линии -секции шин.

**Рабочая программа дисциплины:  
- для специальности 140204:**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ В.В. Проказин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

*Автоматика электроэнергетических систем*

по специальности *140204.65 – Электрические станции*

Квалификация (степень) выпускника			<i>специалист</i>		
Курс	<b>4</b>	Семестр	<b>8</b>		
Лекции		Семестр <b>8</b>	<b>30</b> (час.)		
Практические занятия		Семестр <b>8</b>	<b>15</b> (час.)	Зачет	<b>- 8 семестр</b>
Самостоятельная работа		Семестр <b>8</b>	<b>50</b> (час.)		
Общая трудоемкость дисциплины		<b>95</b> (час.),	в т.ч. ауд.	<b>45</b> (час.)	

Составитель *А.Н. Козлов, доцент, канд. тех. наук*

Факультет *энергетический*

Кафедра *энергетики*

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 140200 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики  
« 29 » июня 2012г., протокол № 13

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методического совета направления подготовки дипломированного специалиста 140200 – ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

« 29 » июня 2012г., протокол № 13

Председатель \_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов  
(подпись, И.О.Ф)

Рабочая программа переутверждена на заседании кафедры от \_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ И.О.Ф.  
(подпись, дата)

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое  
управление

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель учебно-методического  
совета факультета

\_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов

« 29 » июня 2012г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов

« 29 » июня 2012г.

СОГЛАСОВАНО

Директор научной библиотеки  
\_\_\_\_\_ Л.А. Проказина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины - вооружить будущих инженеров знаниями и умениями, позволяющими при проектировании объектов электроэнергетических систем, а также в процессе их эксплуатации обоснованно применять алгоритмы автоматического управления режимами работы электроэнергетических систем и противоаварийного управления ими. Рассматриваемый курс для данной специальности является продолжением подготовки, полученной в 7 семестре при изучении дисциплины «Релейная защита и автоматизация».

Основные задачи дисциплины - освоение студентами принципов действия автоматических устройств управления электроэнергетическими объектами; изучение и техническое выполнение автоматических управляющих устройств; ознакомление с перспективными разработками технических средств автоматического управления.

Базовыми для данной дисциплины являются курсы «Переходные процессы в электрических системах», «Электрическая часть станций и подстанций» и «Теория автоматического управления».

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:

Дисциплина «Автоматика электроэнергетических систем» предусмотрена Государственным образовательным стандартом для специальности 140204 в качестве одной из факультативных дисциплин – шифр ФТД.5.

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», «Теория автоматического управления», «Программирование и применение ЭВМ».

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- **знать** теоретические основы автоматического управления режимом работы синхронных генераторов (блоков генератор-трансформатор), электростанции в целом, основного электрооборудования подстанций и линий электропередачи, а также техническое исполнение автоматических управляющих устройств и систем;

- **уметь** разбираться в функциональных и принципиальных схемах устройств и систем автоматического управления;

- **владеть навыками** проектирования автоматики управления режимами работы и противоаварийной автоматики, а также навыки математического моделирования функционирования автоматических устройств на ПЭВМ.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 95 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы				Формы текущего контроля
		Лекции (час.)	Практ. занят. (час.)	Лабор. работы (час.)	СРС (час.)	
<i>Семестр 8</i>						
1	<b>Раздел 1 «Автоматические системы управления в электроэнергетике»</b> 1.2 Введение 1.2 Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике 1.3 Основы теории автоматического управления 1.4 Основные положения теории автоматического регулирования	12	4		15	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.



	1.5 Устойчивость функционирования замкнутой автоматической системы регулирования					
2	<b>Раздел 2 «Автоматическое управление технологическими процессами на электрических станциях»</b> 2.1 Автоматическое управление изменением состояний гидро- и турбогенераторов 2.2 Включение агрегатов на параллельную работу 2.3 Управление частотой и активной мощностью в ЭЭС 2.4 Регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС 2.5 Автоматизированные системы управления технологическими процессами	10	6		20	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.
3	<b>Раздел 3 «Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»</b> 3.1 Особенности регулирования частоты и активной мощности в ЭЭС 3.2 Способы регулирования напряжения на объектах ЭЭС 3.3 Цифровые технологии в энергетике	8	5		15	Посещение лекций. Отчеты по выполнению практических работ.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 ЛЕКЦИИ

#### Семестр 8

#### **Раздел 1 «Автоматические системы управления в электроэнергетике»**

**Тема 1. Введение.** Специфические особенности процесса производства и распределения электроэнергии, обуславливающие необходимость автоматического управления. Автоматическое управление как информационный процесс. Рекомендуемая литература.

**Тема 2. Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике.** Автоматическая система управления процессом производства и передачи электроэнергии как взаимодействующая совокупность автоматических управляющих устройств. Осуществление автоматической системы управления электроэнергетикой на основе цифровой вычислительной техники.

**Тема 3. Основы теории автоматического управления.** Теория информации как теоретическая основа автоматического управления. Основные ее положения. Непрерывное автоматическое управление нормальным режимом работы электроэнергетической системы – автоматическое регулирование и дискретное автоматическое управление в аварийных ситуациях – противоаварийное управление.

**Тема 4. Основные положения теории автоматического регулирования.** Структурные звенья автоматической системы регулирования, различаемые по их динамическим свойствам.

**Тема 5. Устойчивость функционирования замкнутой автоматической системы регулирования.** Критерии устойчивости ее функционирования. Показатели качества автоматического регулирования и способы их улучшения. Алгоритмы автоматического регулирования. Основные положения теории дискретного управления.

## **Раздел 2 «Автоматическое управление технологическими процессами на электрических станциях»**

**Тема 6. Автоматическое управление изменением состояний гидро- и турбогенераторов.** Типовые алгоритмы автоматического управления пуском и остановом гидрогенераторов ГЭС. Сложность технологических процессов пуска и останова турбогенераторов ТЭС. Комплекс автоматических устройств дискретного и непрерывного действия управления пуском и остановом турбогенераторов. Особенности автоматического управления пуском и остановом турбогенераторов АЭС.

**Тема 7. Включение агрегатов на параллельную работу.** Автоматическое управление подготовкой к включению и включением синхронных генераторов на параллельную работу. Автоматические синхронизаторы.

**Тема 8. Управление частотой и активной мощностью в ЭЭС.** Автоматическое регулирование частоты вращения и активной мощности синхронных генераторов. Реализация оптимального распределения мощности электростанции между параллельно работающими синхронными генераторами.

**Тема 9. Регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС.** Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов.

**Тема 10. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.** Автоматизированная система управления (АСУ) частоторегулирующей ГЭС. Ее функциональная схема и реализация на основе цифровой вычислительной техники. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) тепловых и атомных электростанций.

## **Раздел 3 «Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»**

**Тема 11. Особенности регулирования частоты и активной мощности в ЭЭС.** Основные задачи и особенности автоматического регулирования частоты и активной мощности, напряжения и реактивной мощности в электроэнергетической системе (ЭЭС).

Автоматическое регулирование частоты и оптимальное управление активной мощностью как основная задача АСУ ЭЭС.

**Тема 12. Способы регулирования напряжения на объектах ЭЭС.** Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС. Особенности автоматического регулирования реактивной мощности реверсивных статических компенсаторов (СТК). Значение автоматического регулирования коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов (АРКТ).

**Тема 13. Цифровые технологии в энергетике.** Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью ЭЭС, ОЭС и ЕЭС в целом.

### **5.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

На практических занятиях решаются задачи по выбору параметров срабатывания и проверки чувствительности устройств автоматики. Должны быть рассмотрены:

- 3.1. Расчет параметров синхронизатора с постоянным углом опережения
- 3.2. Расчет параметров синхронизатора с постоянным временем опережения
- 3.3. Расчет параметров устройства АРКТ
- 3.4. Расчет допустимости несинхронного АПВ и других видов повторного включения.
- 3.5. Расчет уставок автоматического включения резерва (АВР).
- 3.6. Расчет параметров автоматической частотной разгрузки (АЧР).
- 3.7. Расчет параметров АОСЧ, АОПЧ
- 3.8. Расчет параметров АОСН, АОПН

## **6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ**

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 8</i>			
1	<b>Раздел 1 Автоматические системы управления в электроэнергетике»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	15
2	<b>Раздел 2 Автоматическое управление технологичес-</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	20

	<i>кими процессами на электрических станциях»</i>		
3	<i>Раздел 3 Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем»</i>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	15

## **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Наилучшей гарантией глубокого и прочного усвоения дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» является заинтересованность студентов в приобретении знаний. Поэтому для поддержания интереса студентов к материалу дисциплины необходимо использовать различные образовательные технологии и задействовать все атрибуты процесса научного познания.

При преподавании дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» используется технология блочного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением раздела обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал раздела.

При выполнении практических работ используется прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению работы имитирует реальное событие; с преподавателем обсуждаются цели работы и ход ее выполнения; при защите работы - обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения работы.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

*В процессе изучения дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:*

- *экспресс-опрос лектора по итогам изучения разделов курса;*
- *выполнение и защита отчетов по практическим занятиям*

### **8.1. Подготовка конспектов по темам на самостоятельное изучение**

1. *Фильтры симметричных составляющих для схем с операционными усилителями и микропроцессорных терминалов*
7. *Высокочастотная обвязка воздушных линий электропередачи*
8. *Автоматическая разгрузка трансформаторов*
9. *Схемы управления коммутационной аппаратурой*
10. *УРОВ.*
11. *Дополнительная местная разгрузка*

### **8.2 Вопросы к зачету**

*Семестр 8 – летняя сессия*

21. *Классификация устройств автоматики*
22. *Возможные варианты развития аварийного процесса*
23. *Назначение и принципы выполнения УРОВ*
24. *Особенности работы схем УРОВ при различном исполнении распределительных устройств*
25. *Система противоаварийного управления в электроэнергетических системах*
26. *Регуляторы скорости турбин*
27. *Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)*
28. *Автоматическое регулирование возбуждения генераторов (АРВ) – назначение*
29. *Токовое компаундирование*
30. *Корректор напряжения*
31. *Фазовое компаундирование*
32. *АРВ генераторов с ВЧ-возбуждением*
33. *АРВ сильного действия (АРВ СД)*

34. Автоматическое регулирование коэффициентов трансформации силовых трансформаторов (АРКТ)
35. Автоматическое включение генераторов на параллельную работу
36. Устройства автоматической и полуавтоматической самосинхронизации
37. Устройство точной синхронизации с постоянным углом опережения
38. Устройство точной синхронизации с постоянным временем опережения
39. Синхронизаторы на микропроцессорной базе
40. Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

### **а) основная литература:**

1. Овчаренко, Николай Ильич. Автоматика энергосистем [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / Н. И. Овчаренко ; под ред. А. Ф. Дьякова, 2009. - 476 с.
- 2 Дьяков, Анатолий Федорович. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем [Текст] : Учеб. пособие: рек. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко, изд 2-е, стереотип., 2010. - 336 с.
3. Андреев, Василий Андреевич. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / В. А. Андреев, 2008. - 640 с.
4. Беляков, Юрий Павлович. Релейная защита и автоматика электрических систем [Текст] : Учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. П. Беляков, А. Н. Козлов, Ю. В. Мясоедов, 2007. - 157 с.

### **б) дополнительная литература:**

14. Овчаренко Н.И. Современные микросхемные измерительные органы релейной защиты и противоаварийной автоматики электрических систем [Текст] : Учеб.пособие / Овчаренко Н.И., 1998. - 56с.
15. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] : Учеб. пособие: рек. УМО / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко, 2000. - 199 с.
16. Козлов, Александр Николаевич. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] : Учеб. пособие. Ч. 1 : Электромеханические реле защиты, 2002. - 86 с.
17. Беляков, Юрий Павлович. Релейная защита и автоматика электрических систем [Текст] : Учеб. пособие / Ю. П. Беляков, А. Н. Козлов, Ю. В. Мясоедов, 2004. - 136 с.
18. Козлов, Александр Николаевич. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] : лаб. практикум. Ч. 3 : Электроавтоматика / А. Г. Ротачева, 2006. - 92 с.
19. Козлов, Александр Николаевич. Релейная защита и автоматика [Текст] : учеб. пособие / А. Н. Козлов, Ю. А. Ротачев, 2006. - 120 с.
20. Гуревич, Юрий Ефимович. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах [Текст] / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, А. А. Окин, 1990. - 390 с.
21. Дудченко, Леонид Николаевич. Управление частотой и активной мощностью в энергообъединении [Текст] : учеб. пособие: рек. ДВ. РУМЦ / Л. Н. Дудченко, 1999. - 116 с.
22. Дудченко, Леонид Николаевич. Регулирование частоты и активной мощности в энергосистеме (маловозмущенное движение) [Текст] : препринт / Л. Н. Дудченко, 1995. - 74 с.
23. Морозкин В.П. Противоаварийная автоматика электроэнергетических систем [Текст] : Задачи и упражнения. Учеб.пособие / Морозкин В.П., 1998. - 32с.
24. Беркович, Михаил Арнольдович. Автоматика энергосистем [Текст] : учеб. / М. А. Беркович, В. А. Гладышев, В. А. Семенов, 1985. - 208 с.
25. Автоматика энергосистем [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140203-Релейная защита и автоматизация электрических систем, 140204-Электрические станции / АмГУ, Эн.ф., 2007. - 68 с.
26. Автоматика энергосистем [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140203, 140204 / АмГУ, Эн.ф., 2007. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM)

### **в) периодические издания:**

20. «Электричество».
21. «Электрические станции».

22. «Энергетик».
23. «Промышленная энергетика».
24. «Электротехника».
25. «Электрика».
26. «Энергохозяйство за рубежом».
27. «Electrical Power and Energy Systems».
28. «IEEE Transactions. Power systems».
29. «Energy Policy».
30. «Вестник ИГЭУ».
31. «Вестник Московского энергетического института».
32. «Известия вузов. Электромеханика».
33. «Известия РАН. Энергетика».
34. «Новости электротехники»
35. «Амурский дилижанс».
36. «Вестник Амурского государственного университета».
37. «Энергетика. Сводный том».
38. «Электротехника. Сводный том»

г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.iqlib.ru/">http://www.iqlib.ru/</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.

**10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ  
«АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

№ п/п	Наименование лабораторий, ауд.	Основное оборудование
1	2	3
1	508 (6) Лаборатория релейной защиты	Лабораторный комплекс на базе стендов производства ООО Инженерно-производственный центр «Учебная техника», г. Челябинск, на котором выполняются практические и лабораторные работы: - автоматическое включение резервного питания; - полуавтоматическая синхронизация генераторов; - автоматическая частотная разгрузка (АЧР); - автоматическое повторное включение (АПВ) линий; - АПВ шин; - делительная автоматика
2	107 (6) Высоковольтная лаборатория	Учебное распределительное устройство 10 кВ, в состав которого входят комплекты релейной защиты и автоматики: - секционного выключателя; - отходящей линии -секции шин.

## *График самостоятельной работы студентов:*

*Для специальности 140203*

Номер недели	Содержание	Объем в часах	Форма контроля	Сроки контроля
1	2	3	4	5
<b>Восьмой семестр</b>				
1	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На второй неделе
2	Подготовка к практическому занятию «Расчет параметров синхронизатора с постоянным углом опережения»	2		
3	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На четвертой неделе
4	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
5	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На шестой неделе
6	Подготовка к практическому занятию «Расчет параметров синхронизатора с постоянным временем опережения»	1		
7	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
8	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
9	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
10	Подготовка к практическому занятию «Расчет параметров устройства АРКТ»	1		
11	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
12	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
13	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
14	Подготовка к практическому занятию «Расчет допустимости несинхронного АПВ и других видов повторного включения»	1		
15	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
<b>Девятый семестр</b>				
1	Оформление решенной задачи Выполнение КР	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
2	Подготовка к ЛР Выполнение КР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
3	Выполнение КР	1		
4	Подготовка к ЛР Выполнение КР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
5	Оформление решенной задачи Выполнение КР	1	Защита решенной задачи Проверка расчетов по КР	На текущей неделе
6	Подготовка к ЛР Выполнение КР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
7	Выполнение КР	1		
8	Подготовка к ЛР Выполнение КР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
9	Оформление решенной задачи Выполнение КР	1	Защита решенной задачи Проверка расчетов по КР	На текущей неделе
10	Подготовка к ЛР Выполнение КР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
11	Оформление решенной задачи Выполнение КР	1	Защита решенной задачи Проверка расчетов по КР	На текущей неделе

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
12	Подготовка к ЛР Выполнение КР	2	Защита ЛР	На текущей неделе
13	Оформление КР	1	Защита КР	На текущей неделе
14	Подготовка к ЛР Защита КР	2	Защита ЛР Защита КР	На текущей неделе

*Для специальности 140204*

Номер недели	Содержание	Объем в часах	Форма контроля	Сроки контроля
1	2	3	4	5
Восьмой семестр				
1	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На второй неделе
2	Подготовка к практическому занятию «Расчет параметров синхронизатора с постоянным углом опережения»	2		
3	Изучение материала лекции	2	Выборочный опрос	На четвертой неделе
4	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
5	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На шестой неделе
6	Подготовка к практическому занятию «Расчет параметров синхронизатора с постоянным временем опережения»	1		
7	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
8	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
9	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
10	Подготовка к практическому занятию «Расчет параметров устройства АРКТ»	1		
11	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
12	Оформление решенной задачи	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
13	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе
14	Подготовка к практическому занятию «Расчет допустимости несинхронного АПВ и других видов повторного включения»	1	Защита решенной задачи	На текущей неделе
15	Изучение материала лекции	1	Выборочный опрос	На текущей неделе

***Методические рекомендации по проведению практических занятий.***

Практическое занятие проводится по следующему плану:

- тема занятия доводится до сведения студентов заблаговременно, на занятия они должны прийти, проработав соответствующий раздел либо по материалам лекций, либо самостоятельно;
- путем выборочного опроса выясняется степень усвоения основных требований к соответствующему устройству автоматики и путей реализации этих требований; разбираются допущенные ошибки и неточности;
- в аудитории решается типовой пример;

- дается индивидуальная задача для самостоятельного решения.

При подготовке к занятиям рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.

2. Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2004. – 136 с.

3. Козлов А.Н., Ротачев Ю.А. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2006. – 120 с.

4. Морозкин В.П. Противоаварийная автоматика электроэнергетических систем. Задачи и упражнения / Под ред. Н.И. Овчаренко. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – 32 с.

### ***Методические рекомендации по проведению лабораторных работ.***

При проведении лабораторных работ рекомендуется придерживаться следующего плана:

- перед выполнением работы студенты сдают краткую теорию по выполняемой лабораторной работе;

- после получения допуска выполняется экспериментальная часть работы;

- производится обработка полученных результатов, оформляется отчет и делаются выводы по проделанной работе;

- лабораторная работа защищается перед преподавателем.

Перед проведением цикла лабораторных работ студенты получают инструктаж по соблюдению техники безопасности и правилам работы с аппаратурой лаборатории с обязательным оформлением инструктажа в журнале по ТБ (должна быть личная подпись каждого студента).

При подготовке к занятиям рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. - М.: Издательство МЭИ, 2000. – 504 с.

2. Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика: Лабораторный практикум. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2006. – 92 с.

### ***Краткий конспект лекций.***

## ***Восьмой семестр***

***Введение. Специфические особенности процесса производства и распределения электроэнергии, обуславливающие необходимость автоматического управления. Автоматическое управление как информационный процесс - 2 ч.***

Процесс производства и передачи электроэнергии является столь динамичным и постоянно подверженным случайным возмущающим воздействиям, что без автоматического управления его функционирование невозможно. Такие его особенности, как равенство в каждый момент времени генерируемой и случайно изменяющейся, требуемой нагрузкой, мощностей, время от времени возникающие короткие замыкания, высокая быстротечность электромагнитных и электромеханических переходных процессов, обуслови-



ли развитие технических средств автоматического управления еще в начальный период становления электроэнергетики. Под *автоматическим* понимается управление процессом производств, передачи и потребления электроэнергии в целом без непосредственного участия человека.

Основные особенности энергосистемы как объекта автоматизации:

- одновременность производства и потребления электроэнергии;
- взаимосвязанность элементов энергосистемы, расположенных на огромной территории;
- быстрота изменения процессов в нормальных и аварийных режимах и сложность происходящих явлений.

Целевой функцией управления энергосистемой является снабжение народного хозяйства и населения электрической и тепловой энергией заданного качества, с установленным уровнем надежности при минимальных затратах. Автоматизация энергосистемы строится на кибернетических принципах с выработкой законов оптимального управления в центрах, получающих информацию о работе основных элементов.

Основные области энергосистемы как объекта автоматизации:

- релейная защита электрооборудования от коротких замыканий и ненормальных режимов, рассматриваемая в отдельном курсе;
- телемеханика, обеспечивающая передачу информации на большие расстояния, выделившаяся в отдельную отрасль науки;
- автоматическое регулирование режима по частоте, напряжению, активной и реактивной мощности;
- автоматика тепломеханического оборудования ТЭС и гидромеханического ГЭС (технологическая автоматика);
- автоматическое управление оперативными переключениями;
- противоаварийная режимная автоматика, предотвращающая развитие аварии при возникновении отдельных нарушений режима

***Принципы построения автоматических систем управления в электроэнергетике. Автоматическая система управления процессом производства и передачи электроэнергии как взаимодействующая совокупность автоматических управляющих устройств. – 2 ч.***

На современном этапе автоматическое управление производится отдельными электроэнергетическими объектами и их взаимодействующими совокупностями. Управление процессом производства и передачи электроэнергии в целом пока еще осуществимо лишь при некотором оперативном вмешательстве человека - диспетчера электроэнергетической системы (ЭЭС). Такое управление называется *автоматизированным*. Оно реализуется автоматизированной системой диспетчерского управления (АСДУ), важнейшей частью которой является управляющий вычислительный комплекс *УВК*, расположенный на диспетчерском пункте (ДП) электроэнергетической системы.

Автоматическое управление осуществляется на основе переработки информации о свойствах управляемых электроэнергетических объектов (УЭО), их состояниях и режимах работы, характеризующихся режимными параметрами  $Y$  и складывающейся ситуации в ЭЭС в результате возмущающих воздействий  $Z$ . Технические средства автоматического управления процессом производства и передачи электроэнергии делятся на автоматику управления нормальными режимами работы ЭЭС и автоматические устройства противоаварийного управления – противоаварийную автоматику.

Информация в виде различных электрических сигналов поставляется автоматическими информационными устройствами *АИУ* по каналам высокочастотной связи с ее источниками: первичными измерительными преобразователями (ПИП) режимных параметров  $ПИП_Y$  управляемых электроэнергетических объектов и возмущающих воздействий  $ПИП_Z$ . На диспетчерском пункте информация вводится в ЭВМ управляющего вычисли-

тельного комплекса и отображается для восприятия человеком.

*Автоматика управления нормальными режимами* ЭЭС обеспечивает:

- автоматический пуск электроэнергетических блоков турбина-генератор и включение на параллельную работу синхронного генератора, т.е. его синхронизацию;
- автоматическое поддержание на заданном уровне напряжения на шинах электрических станций и реактивной мощности синхронных генераторов;
- автоматическое управление режимами ЭЭС по напряжению и реактивной мощности;
- автоматическое поддержание на неизменном уровне частоты вращения синхронно работающих генераторов;
- оптимальное (по характеристикам относительного прироста расхода условного топлива) распределение случайно изменяющейся электрической нагрузки ЭЭС между электрическими станциями и между электроэнергетическими блоками электростанций.

Указанные функции автоматики управления нормальными режимами реализуются автоматическими воздействиями на изменения впуска энергоносителя в турбины, автоматическим включением в определенный момент времени и при соответствующих условиях выключателя синхронного генератора, непрерывным управлением (регулируемым) возбуждения синхронных генераторов и компенсаторов, дискретным управлением устройствами регулирования под нагрузкой (УРПН) трансформаторов и автотрансформаторов, регулированием реактивной мощности непрерывно управляемых ее источников – статических компенсаторов (СТК) и дискретным управлением мощностью конденсаторных установок.

Соответственно различаются: пусковые автоматы (ПА) гидротурбин и комплексы автоматических устройств управления пуском (КАУП) тепловых турбоагрегатов, автоматические регуляторы частоты вращения турбин (АРЧВ), устройства автоматической синхронизации гидро- и турбогенераторов (УАС), автоматические регуляторы возбуждения (АРВ) синхронных генераторов и компенсаторов, автоматические регуляторы частоты промышленного тока и активной мощности синхронных генераторов (АРЧМ), автоматические устройства оптимального распределения нагрузки (УРАН) электроэнергетической системы между частоторегулирующими электростанциями, автоматические регуляторы коэффициентов трансформации (АРКТ) и автоматические регуляторы реактивной мощности статических установок ее генерирования или потребления (АРРМ).

Разрабатываются комплексные (интегрированные) автоматические системы управления режимами работы электроэнергетических блоков электростанций, узловых общесистемных подстанций и магистральных электропередач высокого и сверхвысокого напряжений.

### ***Осуществление автоматической системы управления электроэнергетикой на основе цифровой вычислительной техники. – 2 ч***

В области автоматики и релейной защиты в последнее десятилетие произошли качественные изменения, вызванные широким использованием цифровой (микропроцессорной) техники. Указанное обусловлено, в первую очередь, существенными преимуществами устройств на микропроцессорной основе по сравнению с электромеханической и электронной базой. Эти преимущества заключаются, прежде всего, в следующем:

- повышении аппаратной надежности, уменьшении массы и габаритов устройств, благодаря существенному уменьшению числа используемых блоков и соединений (одно микропроцессорное устройство выполняет обычно различные функции, для реализации которых ранее требовалось несколько устройств);
- существенном повышении удобства обслуживания и возможности сокращения обслуживающего персонала;
- расширении и улучшении качества выполняемых функций;

- возможности непосредственной регистрации процессов и событий и анализа возникших в энергосистеме повреждений;
- принципиально новых возможностях управления автоматикой и передачи от нее информации на географически удаленные уровни управления;
- технологичности производства.

Принципы построения и алгоритмы, используемые в устройствах цифровой автоматики, во многом отличаются от применяемых в электромеханических и электронных устройствах, ввиду существенно различающихся технической основы и способов обработки информации. Новые возможности цифровой обработки сигналов и обмена информацией, позволяют реализовать целый ряд функций, которые невозможно было осуществить ранее.

Все это делает возможным повышение эффективности автоматики при применении цифровых устройств, благодаря более полному учету режимов в энергосистеме, большей долговечности и меньшим затратам на обслуживание, прежде всего периодическое, вследствие возможности увеличения сроков между проверками и отсутствия необходимости ревизии каких-либо механических элементов.

Указанное повышение эффективности может быть достигнуто лишь при правильном понимании и применении функций устройств цифровой автоматики. Прежде всего, в структуре построения устройств не существует физических блоков, соответствующих отдельным функциям. Другим моментом является существенное увеличение в цифровых устройствах числа параметров, установка которых производится пользователем, и наличие в сложных устройствах большого числа сообщений различного вида. Это в определенной степени усложняет обслуживание и требует наличия квалифицированного персонала. Эффективным средством снижения ошибок является использование программ расчета уставок и автоматизированных средств проверки. Важным также является обеспечение допустимой электромагнитной обстановки на объекте для снижения влияния помех и исключения возможности повреждения устройств.

***Основы теории автоматического управления. Теория информации как теоретическая основа автоматического управления. Основные ее положения. Непрерывное автоматическое управление нормальным режимом работы электроэнергетической системы – автоматическое регулирование и дискретное автоматическое управление в аварийных ситуациях – противоаварийное управление - 2 ч***

Математическое описание статических свойств системы и ее звеньев осуществляется статическими характеристиками или уравнениями статики. Для математического описания динамики применяются уравнения движения, характеристические уравнения, передаточные функции и динамические характеристики.

При составлении уравнения движения системы рационально предварительно разделить систему на звенья и выводить уравнения для каждого звена порознь. При этом каждое звено должно обладать направленностью действия, т. е. передавать воздействие только в одном направлении – от входа к выходу. Три условия, обеспечивающие направленность действия звеньев:

- последующее звено практически не влияет на предыдущее ввиду малой мощности, которую оно отбирает у предыдущего звена. Это условие соблюдается при присоединении измерительного устройства к объекту регулирования, усилителя к измерительной схеме и т. п.;
- несколько взаимосвязанных элементов, каждый из которых в отдельности не является звеном направленного действия, объединяются в одно звено направленного действия. Например, усилитель и его нагрузка образуют совместно звено направленного действия;
- в качестве выходной величины предыдущего звена выбирается такая величина, которая не зависит от присоединения последующего звена. Например, если генератор обладает внутренним сопротивлением, соизмеримом с сопротивлением его нагрузки, то в качестве его выходной величины следует выбирать создаваемую им э. д. с, которая не зависит от присое-

динения нагрузки, чего нельзя сказать о соответствующих напряжении и токе.

Составление уравнений звеньев производится на основании тех физических законов, которым подчиняются процессы в исследуемом звене. Поэтому данный вопрос выходит за рамки теории автоматического регулирования. Однако можно указать общую методику составления уравнения линейного звена:

- составляется система уравнений для переходного процесса по соответствующим физическим законам. Перед составлением уравнений принимаются некоторые упрощающие допущения.

- Составленные уравнения решаются совместно. При этом исключаются промежуточные переменные и получается уравнение движения звена, связывающее выходную величину и ее производные по времени с входными величинами и их производными по времени. При совместном решении уравнений удобно в целях упрощения предварительно алгебраизировать дифференциальные уравнения;

- полученное уравнение движения звена принято приводить к нормализованной форме: слагаемые, содержащие выходную величину и ее производные, записывают в левой части дифференциального уравнения по убыванию порядка производных. Слагаемые с входными величинами и их производными записывают в правой части в той же последовательности; все члены уравнения делят на коэффициент при выходной величине, а если он равен нулю, то деление производится на коэффициент при младшей производной от выходной величины;

- сложные по форме выражения коэффициентов заменяют обозначениями, включающими в себя постоянные времени и коэффициенты передачи (усиления).

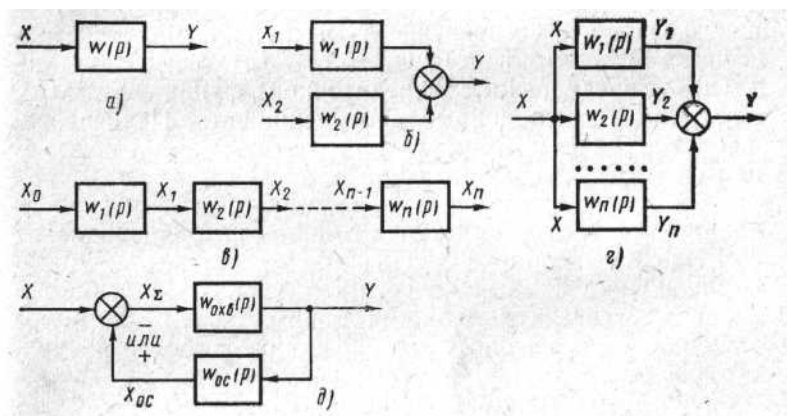
**Основные положения теории автоматического регулирования. Структурные звенья автоматической системы регулирования, различаемые по их динамическим свойствам. Устойчивость функционирования замкнутой автоматической системы регулирования.**

- 2 ч

Уравнение системы регулирования может быть найдено по уравнениям образующих ее звеньев двумя способами:

- совместным решением уравнений звеньев;
- составлением и преобразованием алгоритмической структурной схемы.

Второй способ является более простым и наглядным (особенно для сложных систем). Составляется алгоритмическая структурная схема АСР, т. е. такая схема, в которой каждой математической операции преобразования сигнала соответствует определенное звено. Каждое звено структурной схемы изображается прямоугольником, в который вписывается передаточная функция звена. Входные и выходные величины звеньев на структурной схеме показывают условно в виде стрелок, причем направление стрелки указывает направление воздействия (см. рис.).



Структурные схемы звеньев и их соединений.

Так же, как и на функциональной схеме, суммирующие элементы, в которых величины складываются или вычитаются, изображаются в виде кружков, разделенных на секторы (рис., б, г, д) секторы, к которым присоединяется стрелка вычитаемой величины, обычно зачерняются. Узлы, в которых воздействие разветвляется, направляясь к различным звеньям системы, обозначаются зачерненными точками.

Передаточная функция замкнутой одноконтурной системы представляется дробью, числитель которой равен произведению передаточных функций звеньев, расположенных между местом приложения входной величины и рассматриваемой выходной величиной в направлении прохождения воздействия, а знаменатель – увеличенному на единицу произведению передаточных функций всех звеньев, входящих в замкнутый контур.

***Критерии устойчивости функционирования замкнутой автоматической системы регулирования. Показатели качества автоматического регулирования и способы их улучшения. Алгоритмы автоматического регулирования. Основные положения теории дискретного управления. – 2 ч.***

Устойчивость системы предполагает затухание ее свободного движения. Свободная составляющая будет затухать только в том случае, если все корни характеристического уравнения имеют отрицательную вещественную часть (так называемые «левые корни»). При наличии хотя бы одного корня с положительной вещественной частью (т. е. «правого корня») система неустойчива. Система находится на границе устойчивости, если помимо левых корней имеются один или несколько корней, расположенных на мнимой оси (т. е. мнимых или нулевых корней).

Таким образом, для анализа устойчивости нет необходимости находить корни характеристического уравнения – достаточно лишь проверить, все ли они левые.

Необходимое условие устойчивости заключается в наличии одинакового знака (положительного) у всех коэффициентов характеристического уравнения. Это условие является и достаточным для систем первого и второго порядка.

Необходимые и достаточные условия устойчивости для систем любого порядка выражены в виде критериев устойчивости, т. е. в виде правил, позволяющих без решения характеристического уравнения проверить, все ли его корни являются левыми. Критерии устойчивости, помимо анализа устойчивости при заданных значениях всех параметров, позволяют также определить критические значения параметров, при которых система находится на границе устойчивости.

Критерии устойчивости делятся на алгебраические (критерии Гурвица, Рауса, И. А. Вышнеградского), которые предполагают выполнение ряда алгебраических действий над коэффициентами характеристического уравнения, и частотные (критерии Михайлова, Найквиста), заключающиеся в построении и анализе некоторых частотных функций.

Помимо критериев, при анализе устойчивости могут быть использованы:

- метод D-разбиения, позволяющий построить область устойчивости в пространстве варьируемых параметров;

- метод корневого годографа, позволяющий построить годографы корней характеристического уравнения при изменении варьируемого параметра.

***Автоматическое управление технологическими процессами на ГЭС, ТЭС и АЭС. Автоматическое управление изменением состояний гидро- и турбогенераторов. Типовые алгоритмы автоматического управления пуском и останом гидрогенераторов ГЭС. – 2 ч***

Подсистема общестанционного автоматического управления состоит из трех основных программных частей, осуществляющих: автоматическое управление пуском и включением на параллельную работу гидрогенераторов – ПУСК; общестанционное автоматическое регулирование частоты и оптимальное распределение активной мощности между гидрогене-

раторами – *ОРЧМ* и общестанционное автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности – *ОРНМ*.

Программная часть *ПУСК* формирует командные сигналы для устройств технологической автоматики, обеспечивающей изменение состояния гидроагрегата, управление процессами нормального и ускоренного пусков в генераторный, насосный (на ГАЭС) или компенсаторный режимы, перевода из одного режима в другой и обеспечение персонала электростанции информацией о их протекании, отображаемой на экранах дисплеев ПЭВМ, особенно на ГАЭС: начале и окончании очередной стадии электромеханического переходного процесса, например открытия направляющего аппарата, достижении близкой к синхронной частоты вращения, электромагнитных и электромеханических переходных процессов само- и точной синхронизации и наборе гидрогенератором нагрузки.

Микропроцессорная часть *ОРЧМ* по сигналам от АСУ ЭЭС формирует сигналы предписанной мощности каждого гидрогенератора и распределяет ее изменения между гидроагрегатами с учетом индивидуальных ограничений по активной мощности и зон нежелательных, из-за повышения вибраций и кавитации, нагрузок, т.е. обеспечивает технически рациональное и технико-экономически оптимальное распределение изменений нагрузки ГЭС между гидроагрегатами. Аналоговыми устройствами группового управления осуществляется лишь равномерное ее распределение – уравнивание нагрузок гидрогенераторов. Подсистема воздействует на АРЧВ турбин через их задающие элементы – механизмы изменения мощности *МИМ*.

Общестанционное автоматическое регулирование напряжения *ОРНМ* выявляет отклонения напряжения на шинах электростанции и реактивной мощности, отдаваемой в электроэнергетическую систему – генерируемой или потребляемой, от предписанных значений и воздействует на задающие элементы изменения уставок напряжения *ЭИУ* АРВ синхронных генераторов или статических компенсаторов реактивной мощности, обеспечивая оптимальное ее распределение между ними, и воздействует на АРКТ трансформаторов и автотрансформаторов, связывающих шины различных напряжений.

### ***Сложность технологических процессов пуска и останова турбогенераторов ТЭС. Комплекс автоматических устройств дискретного и непрерывного действия управления пуском и останом турбогенераторов. Особенности автоматического управления пуском и останом турбогенераторов АЭС – 2 ч.***

В связи с возрастающей по мере развития электроэнергетики сложностью решения проблемы оптимального распределения активной нагрузки при поддержании практически неизменной частоты и, особенно, противоаварийного управления мощностью электроэнергетических систем и ее перетоками между ними к покрытию неплановой случайно изменяющейся части графика нагрузки ЭЭС стали привлекаться и тепловые электростанции.

В связи с громоздкостью теплоэнергетического технологического оборудования функции микропроцессорной АСУ ТП тепловой электростанции существенно сложнее выполняемых автоматизированной системой управления гидроэлектростанцией. В соответствии с общей концепцией построения АСУ ТП тепловых и атомных электростанций, она является интегрированной, иерархической, двухуровневой и распределенной, функционирующей на основе переработки обширной информации.

Основной уровень АСУ ТП – это ее общестанционная часть *ОСЧ*. Она состоит из информационного *ИВК* и управляющего *УВК* вычислительных комплексов. Информационное обеспечение АСУ имеет решающее значение для эффективности ее функционирования. Общестанционная часть АСУ осуществляет обмен информацией по телеавтоматическим каналам технических средств сбора и передачи информации *ССПИ* с АСУ ЭЭС, автоматизированной системой диспетчерского управления (АСДУ) ОЭС и ЕЭС и по каналам быстрой передающей передачи сигналов *БСПА* с централизованной противоаварийной автоматикой *ЦПА*. Общестанционная часть получает информацию о заданном графике загрузки электро-

станции плановой мощностью и о предписанной неплановой, покрытие которой связано с участием ТЭС в автоматическое регулирование частоты, информацию о дозированных противоаварийных воздействиях на кратковременное и длительное снижение мощности турбин в аварийном и послеаварийном режимах соответственно, и выдает информацию о режимах работы ТЭС и ее технико-экономических показателях, о схеме электростанции, состояниях энергоблоков, максимально и минимально допустимых мощностях и об исполнении заданий по плановой и неплановой мощностям.

Информационно-вычислительный комплекс *ИБК* собирает информацию от измерительных преобразователей электрических режимных параметров турбогенераторов и датчиков тепловых, термодинамических и механических режимных параметров энергоблоков и оборудования **собственных** нужд (источников информации *ИИ* агрегатной части *АЧ АСУ ТП*) и производит ее обработку, прежде всего для отображения оперативному персоналу *ООП*, диагностики состояния и определения ресурсов основного тепло- и электроэнергетического оборудования, учета выработанной, потребляемой на собственные нужды и отпущенной электрической и тепловой энергии, поступающей в устройств отображения и использования информации *УО* и *ИИ*. В *ИБК* производятся расчеты по оптимальному распределению плановой и неплановой мощностей электростанции между энергоблоками по рассчитываемым циклически на основе собираемой информации технико-экономическим показателям энергоблоков.

Управляющий вычислительный комплекс состоит из четырех частей: управления пуском, включением на параллельную работу и нагружением турбогенераторов *ПУСК*, общестанционного регулирования частоты и мощности *ОРЧМ*, напряжения и реактивной мощности *ОРЕМ* и противоаварийного управления мощностью *ПАУМ*. Основные отличительные от управляющей части АСУ ГЭС особенности *УБК* определяются сложностью технологических процессов пуска, останова и нагружения паровых турбин и рассмотренными задачами автоматического управления мощностью в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах.

### ***Автоматическое управление подготовкой к включению и включением синхронных генераторов на параллельную работу. Автоматические синхронизаторы – 2 ч***

Различают синхронизацию *автоматическую*, при которой все операции производятся без вмешательства персонала специальными автоматическими устройствами, и *полуавтоматическую*, при которой действия персонала сведены к минимуму и ограничиваются только выполнением части операций (например, регулирование скорости вращения синхронизируемого генератора), в то время как другие операции производятся автоматически.

Автоматизация всех операций при синхронизации и в особенности наиболее ответственной – включения синхронной машины позволяет исключить тяжелые последствия ошибочных действий персонала. Для включения синхронных генераторов на параллельную работу в настоящее время применяются два способа: самосинхронизация и точная синхронизация.

При *самосинхронизации* невозбужденный генератор разворачивается турбиной до скорости, близкой к синхронной, и при определенном скольжении и ускорении его ротора по отношению к ротору эквивалентного генератора энергосистемы включается в сеть, после чего сразу же подается возбуждение и происходит втягивание ротора в синхронизм.

При *точной синхронизации* генератор разворачивается до подсинхронных оборотов и возбуждается. В момент его включения в сеть необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- примерное равенство частот синхронизируемого генератора и сети;
- примерное равенство напряжений генератора и сети;
- отсутствие сдвига фаз синхронизируемых напряжений.

Для выполнения указанных условий точной синхронизации даже в нормальных режимах требуется достаточно продолжительное время. В аварийных же ситуациях, когда необходим быстрый ввод дополнительной мощности и возможны значительные изменения величины и частоты напряжения энергосистемы, включение генератора способом точной синхронизации может зата-

нуты или же произойти в недопустимых условиях. Известны также случаи отказа в работе автоматических устройств точной синхронизации. Возможность быстрого включения генераторов в аварийных условиях, а также значительное упрощение устройств автоматики, обусловленное отсутствием необходимости соблюдения условий точной синхронизации, являются главными преимуществами способа самосинхронизации по сравнению с точной синхронизацией. Недостаток же самосинхронизации состоит в возникновении значительных толчков уравнивающего тока и мощности.

Автоматический синхронизатор с постоянным углом опережения.

Автоматический синхронизатор с постоянным временем опережения.

### ***Автоматическое регулирование частоты вращения и активной мощности синхронных генераторов. Реализация оптимального распределения мощности электростанции между параллельно работающими синхронными генераторами. Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности синхронных генераторов – 2 ч***

Удерживать частоту в требуемых пределах в специфических условиях работы гидро- и турбогенераторов, обусловленных необходимостью равенства генерируемой и потребляемой активной мощности в каждый момент времени при непрерывно и случайно изменяющейся нагрузке электроэнергетической системы, можно только непрерывным автоматическим управлением частотой вращения турбин. Оно осуществляется автоматическими регуляторами частоты вращения (АРЧВ).

В режиме пуска паровой турбины АРЧВ функционирует как программный регулятор при изменяющемся предписанном значении частоты вращения, определяемом технологическими условиями ее разворота. В процессе подготовки генератора к включению на параллельную работу способом точной синхронизации АРЧВ, взаимодействуя с автоматическим устройством управления частотой скольжения синхронного генератора, обеспечивает целесообразную для функционирования автоматического синхронизатора частоту скольжения.

В нормальном режиме параллельно и синхронно работающих нагруженных генераторов изменения нагрузки электроэнергетической системы нарушают оптимальные технико-экономические показатели режима их работы, восстанавливаемые устройствами автоматического управления активной мощностью синхронных генераторов – автоматическими регуляторами активной мощности (АРМ). Поэтому АРЧВ турбин функционируют совместно с АРМ синхронных генераторов, взаимодействуя с ними, что является важной особенностью автоматического регулирования их частоты вращения.

Взаимодействие АРЧВ гидравлических и паровых турбин с АРМ оказывается существенно различным, ввиду подвижности (мобильности) первых и чрезвычайной инерционности, обусловленной технологией подготовки пара, вторых. Гидроагрегаты могут изменять свою нагрузку быстро и в полном диапазоне от холостого хода до номинальной. Нагружение теплового энергоагрегата, как указывалось, происходит длительно и при автоматическом управлении; снижение мощности паровой турбины ограничивается технологическим минимумом производительности парогенератора.

Дискретное уменьшение активной нагрузки синхронного генератора безболезненно для гидравлических и весьма опасно для паровых турбин.

Еще одна особенность АРЧВ обуславливается различным поведением турбины синхронного генератора как регулируемого объекта при механическом переходном процессе – пуске и подготовке генератора к синхронизации или при его холостом ходе и при электромеханическом переходном процессе, возникающем в нагруженном режиме его параллельной работы в электроэнергетической системе. При механическом переходном процессе турбина описывается передаточной функцией интегрирующего звена, а при электромеханическом переходном процессе в нагруженных гидро- или турбогенераторе – передаточной функцией апериодического звена.

Понятие статизма (коэффициента статизма) и его роль в распределении нагрузки между агрегатами и станциями.



***Автоматизированная система управления (АСУ) частоторегулирующей ГЭС. Ее функциональная схема и реализация на основе цифровой вычислительной техники. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) тепловых и атомных электростанций. – 2 ч.***

Методы регулирования частоты:

- регулирование с положительным статизмом (работа - со всеми агрегатами);
- астатическое регулирование одним агрегатом (применяется в изолированной энергосистеме небольшой мощности);
- метод ведущего генератора (помимо одного агрегата с астатической характеристикой к регулированию привлекаются еще несколько ведомых генераторов регулирующей электростанции, нагрузка на которых изменяется принудительно);
- метод долевого статизма (применяется для астатического регулирования частоты одной электростанцией с пропорциональным распределением нагрузки между агрегатами, регулирующими частоту);
- метод интегрального отклонения частоты.

***Автоматическое регулирование параметров режима электроэнергетических систем. Основные задачи и особенности автоматического регулирования частоты и активной мощности, напряжения и реактивной мощности в электроэнергетической системе (ЭЭС). Автоматическое регулирование частоты и оптимальное управление активной мощностью как основная задача АСУ ЭЭС - 2 ч.***

Система автоматического управления режимом по частоте и мощности (САУРЧМ) предназначена для автоматического выполнения следующих функций:

- поддержания номинального значения частоты в энергосистеме;
- распределения в процессе регулирования нагрузок между электростанциями в соответствии с равенством удельных приростов затрат с приближенным учетом потерь в сетях;
- ограничения потоков активной мощности по сильно загруженным линиям электропередачи с целью предупреждения нарушения статической устойчивости.

**Общесистемная** часть САУРЧМ формирует управляющее воздействие для стационарной части в виде задания величины удельного прироста затрат тепловой электростанции и удельного прироста часового расхода воды на ГЭС.

**Стационарная** часть должна выполнять следующие функции:

- определение нагрузки электростанции по ее характеристике удельного прироста при данном составе работающего оборудования;
- наивыгоднейшее распределение нагрузки между агрегатами;
- изменение характеристик удельного прироста и границ регулировочного диапазона агрегатов и станции при изменении состава оборудования и режима работы;
- быстрое изменение нагрузки агрегатов а аварийных режимах.

***Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС. Особенности автоматического регулирования реактивной мощности реверсивных статических компенсаторов (СТК). – 2 ч***

Основные задачи автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности:

- обеспечение рациональных потоков реактивной мощности в процессе передачи электроэнергии от электрических станций к потребителям;
- сохранение или повышение статической устойчивости электропередач в нормальных режимах работы;
- повышение динамической и результирующей устойчивости электроэнергетической

системы в аварийных режимах;

- обеспечение требуемого напряжения у потребителей, т.е. обеспечение одной из норм качества электроэнергии.

Указанные задачи автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности решаются:

- автоматическим регулированием возбуждения синхронных генераторов электростанций;

- регулированием возбуждения синхронных компенсаторов и электродвигателей;

- регулированием мощности управляемых статических источников реактивной мощности;

- автоматическим регулированием коэффициентов трансформации трансформаторов.

Возможность непрерывного управления мощностью реакторов и дискретного изменения мощности конденсаторных установок мощными тиристорными управляемыми устройствами и тиристорными выключателями соответственно обусловила разработку статических реверсивных управляемых компенсаторов (СТК), более надежных, быстродействующих и менее дорогих, чем вращающиеся синхронные компенсаторы. В связи с выявившимися особенностями коммутации секционированных конденсаторных установок оказалось целесообразным выполнять СТК, состоящими из непрерывно управляемой реакторной части и постоянно включенной или только включаемой и отключаемой в целом конденсаторной установки.

Непрерывно управляемые реакторные СТК в режимах малой загрузки потребляемой реактивной мощностью генерируют гармонические составляющие напряжения и тока, поэтому пришлось их секционировать и осуществлять дискретно-непрерывное управление их мощностью.

### ***Значение автоматического регулирования коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов (АРКТ). Реализация АРКТ – 2 ч***

Основные особенности автоматического регулирования коэффициента трансформации:

- дискретность действия регулятора и нечувствительность к изменениям напряжения, меньшим ступени регулирования;

- действие с относительно большой выдержкой времени для предотвращения переключений при кратковременных изменениях напряжения при пусках и самозапусках электродвигателей, удаленных КЗ и в других случаях;

- необходимость (для понижающих трансформаторов) регулирования напряжения с отрицательным статизмом для поддержания напряжения у потребителя на неизменном уровне при возрастании нагрузки.

Указанные особенности обуславливают соответствующие требования к измерительной части автоматических регуляторов коэффициентов трансформации, а именно:

- релейность действия с зоной нечувствительности измерительного органа напряжения;

- высокий (близкий к единице) коэффициент отпускания (возврата) релейных элементов;

- необходимость ввода в измерительный орган напряжения сигнала по току нагрузки для установки отрицательного статизма.

Высокий коэффициент возврата необходим для обеспечения возможной точности регулирования путем максимального приближения зоны нечувствительности регулятора к ступени регулирования.

Схемы АРКТ.

## ***Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью ЭЭС, ОЭС и ЕЭС в целом – 2 ч***

В последние годы особое внимание было обращено на развитие программного обеспечения для решения задач, возникающих в процессе ведения режима, т. е. на временном уровне оперативного управления. Эти задачи решаются на основе автоматически собираемой информации о текущем режиме, а также прогноза предстоящего (внутрисуточного) изменения состояния. В процессе обработки исходной информации производится ее достоверизация и оценивание состояния управляемой энергосистемы. В состав этих задач входят: контроль состояния схемы и режима, выявление отклонений параметров режима от заданных (допустимых, оптимальных) значений; анализ балансов мощности, выработки и потребления электроэнергии по регионам; оценка запасов устойчивости, коррекция допустимых значений потоков мощности; анализ возможных послеаварийных режимов и общая оценка надежности текущего и предстоящего режимов; выработка советов диспетчеру по оптимизации режима, использованию резервов активной и реактивной мощностей, улучшению качества электроэнергии и повышению надежности; расчет обобщенных показателей режима; контроль за состоянием сети каналов связи и телемеханики, состоянием и настройкой систем АРЧМ и ПА; ведение оперативной отчетности и т. д.

Разработка методов, алгоритмов и программ, применяемых в централизованных системах ПА, относится к математическому обеспечению для автоматического управления. Для систем, основанных на использовании заблаговременно рассчитанных областей устойчивости, созданы программные комплексы, базирующиеся на использовании обычных методов анализа устойчивости и специально разработанных методов построения аппроксимации области устойчивости. В адаптивных системах, осуществляющих управление, обеспечивающее статическую устойчивость послеаварийного режима в энергообъединении с относительно слабыми связями, выполнение основных расчетов по дозировке управляющих воздействий обеспечивается или применением простейших моделей с приближенным определением параметров послеаварийного режима и оценкой статической устойчивости по сходимости расчета установившегося режима, или использованием значений углов по связям в качестве критериев предельных и допустимых режимов.

### ***Девятый семестр***

#### ***Основные принципы построения противоаварийной автоматики. Пирамидальное построение противоаварийной автоматики: автоматика ликвидации возмущающих воздействий – автоматика повторного включения (АПВ) - 2 ч***

Развитие объединенных электроэнергетических систем (ОЭС), сооружение тепловых и гидравлических электростанций большой мощности и протяженных линий электропередачи сверх- и ультравысокого напряжения повышает надежность и экономичность электроснабжения потребителей. Но при этом заметно усложняются задачи управления.

Режимы работы и структура крупных энергетических объединений имеют ряд особенностей:

- работа дальних электропередач с малыми запасами по динамической и статической устойчивости в нормальных и послеаварийных условиях;

- наличие дальних линий электропередачи 330-750 кВ, одностороннее отключение которых может вызвать опасное для оборудования повышение напряжения в сети;

- вероятность существования асинхронных режимов, возникающих вследствие нарушения устойчивости, несинхронного АПВ и др.;

- наличие слабых связей между энергосистемами (слабой называется связь, пропускная способность которой составляет менее 10% мощности меньшей из энер-

госистем). По условиям устойчивости требуется жесткое ограничение активной мощности, передаваемой по слабым связям;

наличие небольших энергосистем, связанных с мощными центрами генерации. В аварийных режимах возможны набросы активной и реактивной мощности на небольшие энергосистемы, что сопровождается опасными повышениями частоты и напряжения.

Нарушение нормального режима при больших возмущениях происходит весьма быстро, предотвратить и ликвидировать его действиями обслуживающего персонала практически невозможно.

Опасность нарушения нормального режима может возникнуть также и при слабых возмущениях, например при медленном увеличении передаваемой по линии мощности, приводящем к нарушению статической устойчивости.

В связи с этим возникла необходимость непрерывно контролировать:

опасные перегрузки линий электропередачи, вызванные непредвиденными изменениями балансов мощности в одной или нескольких связанных между собой ЭЭС;

набросы мощности на внутрисистемные электропередачи и межсистемные связи при внезапных отключениях генераторов или нагрузки в одной из ЭЭС;

внезапные отключения одной из межсистемных связей, угрожающие нарушением динамической устойчивости;

разрывы мощных электропередач, вызывающие набросы мощности на слабые шунтирующие линии более низкого напряжения и опасное повышение частоты в энергосистемах;

затяжные КЗ, отключаемые действием резервных защит или УРОВ;

неполнофазные режимы, появляющиеся в цикле ОАПВ или при отказах отдельных фаз выключателей;

одностороннее отключение протяженных участков ЛЭП СВН, вызывающее повышение напряжения, опасное для оборудования;

возникновение асинхронного режима.

Для решения перечисленных выше задач используются различные средства противоаварийной автоматики (ПА). Основные требования, предъявляемые к противоаварийной автоматике, такие же, как и у релейной защиты. Они сводятся к обеспечению быстродействия, чувствительности, селективности, надежности. Требование быстродействия вызвано тем, что задержка управляющего воздействия приводит к необходимости увеличивать его интенсивность и, более того, может сделать его бесполезным. Для удовлетворения требований чувствительности и селективности желательно, чтобы интенсивность управляющего воздействия была минимально необходимой для выполнения функционального назначения автоматики.

По своему функциональному назначению устройства ПА могут быть разделены на четыре основные группы [18].

В первую группу входят устройства, предназначенные для предотвращения нарушения устойчивости (*АПНУ*) и действующие в следующих случаях:

при сбросах передаваемой мощности во время КЗ и в циклах АПВ (ОАПВ, БАПВ, ТАПВ);

при опасных перегрузках электрических связей, вызванных аварийными изменениями схемы, нарушениями балансов мощности, отклонениями частоты и т. д.

Эти устройства производят дозированные воздействия на разгрузку электропередачи: снижением генерируемой мощности (*отключение части генераторов – ОГ, импульсная разгрузка турбин и ограничение их мощности в послеаварийном режиме*) в избыточной части энергосистемы (энергообъединения);

отключением менее ответственной нагрузки (*АЧР, САОН*) и в ряде случаев быстрой мобилизацией резервов мощности – в дефицитной части;

одновременным воздействием на изменение балансов мощности обеих частей энергообъединения, если это необходимо для ограничения отклонения частоты (*сбалансированное*

*воздействие автоматики);*

*выделение* тепловых и атомных электростанций (или части энергоблоков) на питание местной нагрузки или нагрузки собственных нужд.

К этой же группе относятся устройства автоматики, осуществляющие управление устройствами продольной и поперечной компенсации: *форсировку* установки продольной компенсации и *отключение шунтирующих реакторов* электропередач сверхвысокого напряжения.

Реже используются устройства противоаварийного управления, предназначенные для *электрического торможения генераторов, быстрой разгрузки гидротурбин, форсированной мобилизации вращающихся резервов мощности конденсационных турбин, увеличения мощности теплофикационных турбин временным снижением отборов тепла, автоматического изменения уставок АРВ генераторов отправной электростанции, управления мощностью электропередач и вставок постоянного тока* и некоторые другие.

Ко второй группе относятся устройства, ликвидирующие асинхронные режимы (*АЛАР, АПАХ, делительная автоматика*). При недопустимости даже кратковременного асинхронного режима эти устройства осуществляют деление сети по первым признакам нарушения устойчивости (в некоторых случаях деление может осуществляться по признакам аварии, неизбежно приводящей к возникновению асинхронного режима).

При допустимости кратковременного асинхронного режима устройства этой группы могут использоваться для осуществления управляющих воздействий, облегчающих ресинхронизацию несинхронно работающих частей ЭЭС. Если ресинхронизация неуспешна, устройства *АЛАР* должны осуществлять деление ЭЭС, предотвращая затяжной асинхронный режим.

К третьей группе относятся устройства, предназначенные для автоматического ограничения повышений частоты и напряжения (*АОПЧ* и *АОПН*) и ограничения снижений этих параметров (*АОСЧ* и *АОСН*).

Устройства *АОПЧ* при опасном повышении частоты действуют на отключение части агрегатов электростанции (*ОГ*), в первую очередь – гидроагрегатов; резервные устройства *АОПЧ* осуществляют отделение ТЭС со сбалансированной нагрузкой.

Устройства *АОПН* при опасном повышении напряжения действуют на *включение* отключенных шунтирующих реакторов и на отключение ВЛ, являющихся источниками избыточной реактивной мощности (обычно односторонне включенные линии), а также на отключение автотрансформаторов и шунтирующих реакторов, если произошел отказ выключателя линии и опасное повышение напряжения не устранено (резервное действие).

Система *АОСЧ*, предотвращающая развитие аварии из-за опасного снижения частоты, включает устройства, осуществляющие:

автоматическую частотную разгрузку – отключение части менее ответственных потребителей (*АЧР*);

автоматический частотный ввод резерва ГЭС;

дополнительную разгрузку при больших местных дефицитах мощности;

выделение части генераторов (или электростанций относительно небольшой мощности) на район со сбалансированной нагрузкой или на питание собственных нужд электростанций.

К этой группе с известной условностью могут быть отнесены устройства, осуществляющие автоматическое ограничение перегрузки оборудования (*АОПО*).

Устройства *АОСН*, предотвращая опасные снижения напряжения, создающие угрозу возникновения лавины напряжения и нарушения работы ответственных потребителей, осуществляют отключение части менее ответственных потребителей; эти устройства действуют также на отключение шунтирующих реакторов электропередач, а в некоторых случаях – на изменение уставок *АРВ* генераторов электростанций дефицитного по реактивной мощности района.

В четвертую группу входят устройства противоаварийной автоматики, способствующие (наряду с устройствами *АПВ* разных типов) восстановлению нормальной схемы и режима. Эти устройства осуществляют:

автоматический ввод резервного источника питания (**АВР**);  
 пуск резервных гидрогенераторов ГЭС и перевод их из режима СК в активный режим;  
 аварийный набор мощности агрегатами ТЭС;  
 обратное включение потребителей, отключенных устройствами АЧР (ЧАПВ) и САОН, и др.

Устройства АПВ применяются на воздушных и смешанных (воздушно-кабельных) линиях напряжением 1000 В и выше; на шинах электростанции и подстанций, оборудованных специальной защитой; на понижающих трансформаторах мощностью более 1000 кВА, имеющих с питающей стороны максимальную токовую защиту, в тех случаях, когда отключение трансформатора приводит к обесточению потребителей; на обходных и шиносоединительных выключателях и на ответственных электродвигателях, отключаемых по условию самозапуска других двигателей.

*Необходимо вникнуть в требования, предъявляемые к устройствам АПВ, и разобраться, как эти требования реализуются в конкретных схемах АПВ. Понять, в чем отличие исполнения трехфазного АПВ (ТАПВ) для линий с односторонним и двусторонним питанием: исполнение АПВ на концах линии, обеспечение синхронности включения. Принцип действия АПВ с контролем синхронизма. Однофазное АПВ (ОАПВ): назначение, область применения. Схемы АПВ. Выбор уставок срабатывания АПВ.*

#### **Автоматика ликвидации возмущающих воздействий, отключенных релейной защитой электроэнергетических объектов - включения резервных источников питания (АВР) – 2 ч.**

Назначение АВР – быстрое восстановление электроснабжения потребителей при отключении рабочего источника питания или находящегося в работе оборудования путем автоматического включения резервного источника питания или резервного оборудования (рис. 18). Необходимо разобраться с требованиями, предъявляемыми к схемам АВР, контролируемые величинами, и собственно схемами АВР для различных случаев применения этого вида автоматики. Приводим выбор уставок срабатывания.

Пусковые органы минимального напряжения должны срабатывать только при полном исчезновении напряжения и не должны приходить в действие при понижении напряжения, вызванном удаленными КЗ или самозапуском двигателей. На рисунке: пусковые органы могут работать при отключении выключателей  $Q1$  или  $Q2$  либо при КЗ в точках  $K4$ ,  $K5$  или  $K6$ . Если же повреждение в точках  $K1$ ,  $K2$  или  $K3$ , то устройство АВР не должно запускаться.

Для выполнения этого требования напряжение срабатывания реле минимального напряжения выбирается по следующим условиям:

$$U_{с.р.1} \leq \frac{U_{ост.КЗ}}{k_H \cdot k_B \cdot n_{TV}},$$

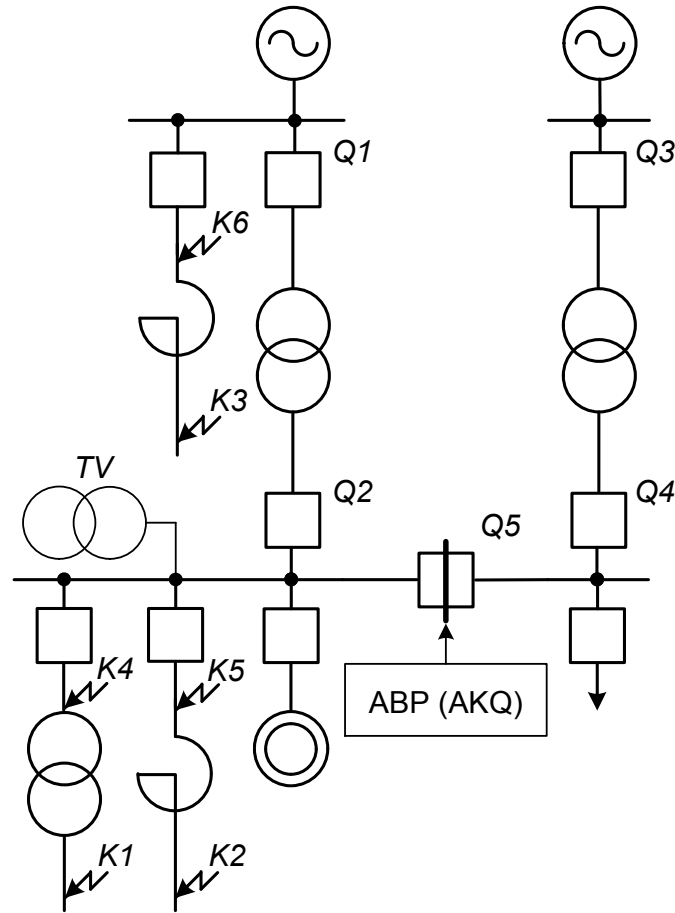
$$U_{с.р.1} \leq \frac{U_{с/зан.}}{k_H \cdot k_B \cdot n_{TV}},$$

где  $U_{ост.КЗ}$  – наименьшее остаточное напряжение при трехфазном КЗ за реакторами ( $K2$ ,  $K3$ ) и за трансформатором ( $K1$ );

$U_{с/зан.}$  – наименьшее напряжение при самозапуске двигателей после отключения коротких замыканий;

$k_H = 1, 2 \div 1, 3$  – коэффициент надежности;

$k_{\rho}$  – коэффициент возврата реле, определяемый из справочников.



Пример применения АВР.

За расчетное значение напряжения срабатывания реле принимается меньшее. В практических расчетах обычно условия выполняются при

$$U_{c.p.1} = (0,25 - 0,4) \cdot U_{ном.}$$

Выдержка времени пускового органа должна быть на ступень селективности больше выдержек времени защит, повреждение в зоне действия которых может привести к пуску АВР. Такими зонами являются участки до реакторов (точки  $K5$ ,  $K6$ ) и до трансформатора – точка  $K4$ . Следовательно

$$t_{1AKQ} = t'_{p.з.макс} + \Delta t,$$

$$t_{1AKQ} = t''_{p.з.макс} + \Delta t,$$

где  $t'_{p.з.макс}$  – максимальная выдержка времени защит присоединений, отходящих от шин высшего напряжения;

$t''_{p.з.макс}$  – максимальная выдержка времени защит присоединений, отходящих от шин низшего напряжения;

$\Delta t$  – ступень селективности.

## **Автоматика предотвращения нарушения динамической или статической устойчивости (АПНУ) – 2 ч.**

Устройства, предназначенные для предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) действуют в следующих случаях:

при сбросах передаваемой мощности во время КЗ и в циклах АПВ (ОАПВ, БАПВ, ТАПВ);

при опасных перегрузках электрических связей, вызванных аварийными изменениями схемы, нарушениями балансов мощности, отклонениями частоты и т. д.

Эти устройства производят дозированные воздействия на разгрузку электропередачи: снижением генерируемой мощности (**отключение части генераторов – ОГ, импульсная разгрузка турбин и ограничение их мощности в послеаварийном режиме**) в избыточной части энергосистемы (энергообъединения);

отключением менее ответственной нагрузки (**АЧР, САОН**) и в ряде случаев быстрой мобилизацией резервов мощности – в дефицитной части;

одновременным воздействием на изменение балансов мощности обеих частей энергообъединения, если это необходимо для ограничения отклонения частоты (**сбалансированное воздействие автоматики**);

**выделение** тепловых и атомных электростанций (или части энергоблоков) на питание местной нагрузки или нагрузки собственных нужд.

### **Отключение генераторов (ОГ)**

Широкое развитие автоматика разгрузки отключением генераторов (ОГ) получила с вводом в эксплуатацию мощных Волжских ГЭС и дальних электропередач 400–500 кВ. В дальнейшем она стала одним из основных средств повышения устойчивости электропередач от крупных ГЭС, блочных ТЭС и АЭС. Особенностью разгрузки с использованием автоматики ОГ является ее дискретный характер; по мере увеличения единичной мощности агрегатов ступени разгрузки возрастают, и с этим связаны загроубление дозировки и некоторая (иногда существенная) избыточность управляющих воздействий. Разгрузка в целях обеспечения устойчивости электропередач от ГЭС может осуществляться только с помощью автоматики ОГ, и такая разгрузка вполне допустима по условиям эксплуатации оборудования этих станций. Для электропередач от ТЭС и АЭС в настоящее время также может использоваться автоматика ОГ, однако для этих электростанций такой способ разгрузки не является ни единственно возможным, ни оптимальным по условиям эксплуатации оборудования.

На блочных ТЭС и АЭС используются два способа ОГ: отключение выключателя генератора (с последующим закрытием клапанов турбины) и закрытие стопорного клапана турбины (с последующим отключением выключателя генератора). Первый из этих способов обеспечивает более быструю разгрузку, что иногда необходимо по условиям динамической устойчивости, но не исключает возможности разгона турбины в случае неполного закрытия клапанов. Второй способ более безопасен для оборудования (имеет преимущественное применение на АЭС), но при этом разгрузка осуществляется в течение примерно 0,8 с от момента подачи управляющего сигнала, что снижает ее эффективность как средства повышения динамической устойчивости.

### **Специальная автоматика отключения нагрузки (САОН)**

Если мощность генераторов и синхронных компенсаторов приемной части ЭЭС достаточна для предотвращения опасных снижений напряжения во всей области устойчивых режимов, причиной нарушения **статической** устойчивости при перегрузке электропередачи является увеличение угла между векторами эквивалентных ЭДС генерирующей и приемной частей системы. Для сохранения устойчивости необходимо разгрузить электропередачу, отключая наименее ответственную нагрузку в приемной части. Устройства, обеспечивающие оценку минимально необходимого размера разгрузки и осуществляющие собственно отключение, получили название **специальной автоматики отключения**



## **нагрузки (САОН).**

Отключение нагрузки наносит ущерб потребителям энергосистемы и потому должно использоваться только в тех случаях, когда другие управляющие воздействия недостаточны или неэффективны, а действие САОН позволяет предотвратить нарушения, приводящие к еще большему народнохозяйственному ущербу.

Вынужденная работа ряда основных электропередач с пониженными запасами устойчивости позволяет снять ограничения потребителей но увеличивает вероятность аварийных нарушений, сопровождающихся работой САОН или АЧР. Опыт эксплуатации показывает, что ущерб от увеличения аварийных отключений нагрузки составляет лишь ничтожную долю возможного ущерба, связанного с необходимостью длительных ограничений потребителей для увеличения запасов устойчивости этих ЛЭП до нормативных значений.

При опасной перегрузке или ослаблении схемы связи действие САОН в приемной части обеспечивает выход на послеаварийный режим с сохранением требуемого запаса **статической устойчивости**. Как средство повышения **динамической** устойчивости САОН практически не используется из-за малой эффективности, хотя в некоторых случаях его действие проявляется и в облегчении динамического перехода.

Другой основной причиной все более широкого использования САОН является концентрация генерирующих мощностей и увеличение количества относительно небольших энергосистем, дефицит мощности которых покрывается перетоками по связям с мощным энергообъединением. Перегрузка такой связи или ослабление ее схемы не может быть устранена действием автоматики снижения генерируемой мощности в основной части энергообъединения. Единственным средством сохранения устойчивости связи оказывается работа САОН в малой по мощности дефицитной части системы. Применение этой автоматики целесообразно, если нагрузка, отключаемая для сохранения устойчивости связи, составляет 50% и менее нагрузки, которая неизбежно отключилась бы устройствами АЧР в дефицитной части при ее отделении от энергообъединения.

Пуск САОН необходимо выполнять с контролем различных факторов, а также их сочетаний, например: ослабления схемы связи; роста угла передачи; опасного снижения напряжения. Разрешается воздействие САОН на отключение потребителей, присоединенных к устройствам АЧР; при этом объем АЧР должен быть достаточен на случай отказа САОН и полной потери связи с дефицитной частью энергообъединения.

Выбор расчетного объема САОН должен производиться с учетом неравномерности графика нагрузки отключаемых потребителей.

Как локальные устройства, так и централизованные системы САОН имеют, как правило, несколько ступеней разгрузки с возможностью дозировки воздействия в соответствии с тяжестью аварии.

## ***Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР); делительная автоматика (ДА)*** **– 2 ч.**

В энергетических системах в случае большого отклонения скорости вращения роторов генераторов от синхронной возникают асинхронные режимы, которые сопровождаются:

глубокими периодическими колебаниями величины и знака мощности на зажимах генератора и линий электропередачи, связывающих электростанции или части систем, вышедшие из синхронизма;

периодическими понижениями напряжения, особенно заметными в электрическом центре качаний;

различием частот в различных точках системы и протеканием больших токов качаний.

Основными причинами асинхронного режима являются: работа синхронной машины при потере возбуждения, ресинхронизация генераторов после нарушения устойчивости, самосинхронизации генераторов, АПВ с самосинхронизацией или без контроля синхронизма,

асинхронный пуск двигателей, компенсаторов, групповой самозапуск электродвигателей и т.п.

Колебания тока в асинхронном режиме достигают больших величин, которые иногда превышают токи КЗ, что особенно опасно для оборудования и потребителей электроэнергии, поэтому для предотвращения возможных повреждений электрооборудования, а также нарушения устойчивости, система с помощью специальных устройств должна быть разделена на несинхронно работающие части.

Устройства, производящие автоматическое разделение системы, называются делительной автоматикой, либо автоматикой прекращения асинхронного хода (АПАХ), либо автоматикой ликвидации асинхронного режима (АЛАР).

По принципу действия устройства делительной автоматики делятся на три основные группы.

К первой группе относятся устройства делительной автоматики, действующие без выдержки времени и реализующие выходную команду еще до того, как наступит асинхронный режим, т.е. когда угол между векторами э.д.с. начинает приближаться к предельному углу  $\delta_{пр.}$ , при котором еще сохраняется параллельная работа. В этом случае разделение энергосистемы не сопровождается биениями тока и напряжения.

Ко второй группе относятся устройства делительной автоматики, реализующие выходную команду после заранее заданного числа циклов колебаний электрических величин с периодом, не превышающим заданное значение, или при прохождении угла  $\delta$  через значения 0-90-180-270-360°.

К третьей группе относятся устройства делительной автоматики, реализующие выходную команду через заранее установленное время, если за это время не прекратился асинхронный режим, вызывающий поочередное срабатывание пускового органа с заданной периодичностью.

***Автоматика предотвращения недопустимых изменений параметров режима ЭЭС – ограничений снижений или повышений частоты (АОСЧ, АОПЧ) и напряжения (АОСН, АОПН) – 2 ч.***

#### **Автоматика ограничения опасных повышений напряжения (АОПН)**

Наиболее частая причина действия автоматики от повышения напряжения – разрыв электропередачи или одностороннее отключение линии. Для выявления повышения напряжения в неполнофазных режимах автоматика выполняется в пофазном исполнении. В случае присоединения к шинам более чем одной линии правильный выбор подлежащей отключению линии обеспечивается пофазным контролем стока реактивной мощности. Уставки автоматики по напряжению выбираются в пределах  $(1,15-1,25)U_{НОМ}$  для электропередач 500 кВ. На подстанциях с шунтирующими реакторами автоматика действует с несколькими степенями выдержки времени: с первой ступенью (1–2 с) производится включение отключенных шунтирующих реакторов; если это не привело к возврату реле максимального напряжения, то со второй ступенью выдержки (2–5 с) отключаются линии, по которым произошел наброс реактивной мощности; если напряжение не снизилось (например, из-за отказа выключателя линии), с третьей ступенью (4–6 с) отключаются трансформаторы и шунтирующие реакторы (при необходимости – с воздействием на устройство УРОВ).

Автоматика от повышения напряжения не должна действовать при повышениях напряжения, вызванных синхронными и асинхронными качаниями; выполнение этого требования облегчается наличием контроля стока реактивной мощности. Выдержки времени второй и третьей ступеней многоступенчатой автоматики должны быть отстроены от времени срабатывания резервных защит и пауз АПВ.

При выборе уставок по времени должны быть учтены требования селективности действия на последовательных участках электропередачи.

### **Автоматика ограничения опасных повышений частоты (АОПЧ)**

Повышение частоты в отделившейся части энергосистемы с избыточной мощностью ГЭС может привести к тому, что скорость вращения роторов турбогенераторов станет больше синхронной. При этом серьезно возрастают механические нагрузки на бандажи и клинья, фиксирующие элементы ротора генератора, и на лопатки турбины. Работа автоматов безопасности паровых турбин практически безрезультатна, т.к. разгон обусловлен внешним фактором – наличием электрической связи турбогенераторов с ГЭС.

Поэтому в тех случаях, когда генерирующая мощность ГЭС не менее чем на 20% превышает суммарную нагрузку выделенной энергосистемы или ее части, следует применять надежно резервированную автоматику, предотвращающую опасное для паровых турбин повышение частоты. Автоматика от повышения частоты, *отключающая часть генераторов ГЭС*, во многих случаях способна предотвратить опасные для энергосистемы режимы. Для обеспечения эффективного действия АОПЧ в условиях многообразия возможных схем и режимов необходимо применять не менее двух ступеней разгрузки и выбирать для первой ступени относительно низкую уставку – 51,5 Гц.

С целью дополнительного резервирования установленных на ГЭС устройств предписывается там, где это возможно по схемным и режимным условиям устанавливать делительную автоматику по частоте, действующую на *выделение* тепловых электростанций или их частей с примерно сбалансированной нагрузкой. Эта автоматика должна быть отстроена по частоте от автоматики, действующей при повышении частоты на ГЭС. Допустимый диапазон уставок делительной автоматики от повышения частоты должен быть в пределах 51,0–53,5 Гц.

### **Автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН)**

Как известно, напряжение поддерживается генерированием или потреблением реактивной мощности синхронными генераторами, синхронными компенсаторами с реверсивным возбуждением, реакторно-конденсаторными управляемыми источниками реактивной мощности, включением и отключением шунтирующих реакторов, устанавливаемых по концам ЛЭП СВН. Обычно автоматика, действующая при снижении или повышении напряжения, реализуется простыми ступенчатыми релейно-контактными устройствами.

Автоматика ограничения снижения напряжения, вызванного дефицитом мощности и угрожающего развитием лавины напряжения, выполняется многоступенчатой. Каждая ступень содержит по два минимальных реле напряжения с близким к единице коэффициентом возврата ( $k_{\hat{a}} = 1,03 \div 1,05$ ). Логическая часть содержит реле времени с минимальной выдержкой времени первой ступени, отстроенной от времени действия релейной защиты (в процессе возникновения и ликвидации КЗ работают устройства релейной защиты; а отключение нагрузки от АОСН не должно происходить). Настройка автоматики ограничения снижения напряжения с малым шагом ступени обеспечивает некоторую адаптацию производимых АОСН отключений нагрузки (в первую очередь - электродвигателей) или питающих ее линий к степени снижения напряжения.

### **Автоматика ограничения снижения частоты (АОСЧ)**

#### **- Автоматика частотной разгрузки**

Обязательная для всех подстанций автоматика частотной разгрузки наносит ущерб потребителям электроэнергии, поэтому должна обладать свойством адаптации к возникшему дефициту мощности. Поскольку АЧР производит дискретное отключение, возможно лишь приближенное соответствие отключаемой мощности и образовавшегося дефицита. Реализуется автоматами трех категорий – АЧРІ, АЧРІІ и АЧРІІІ.

Наиболее распространена и эффективна первая из них, состоящая из 10-20 мгновено действующих очередей с уставками, изменяющимися от  $f_{\tilde{n}\delta.1} = 48,5$  до  $f_{\tilde{n}\delta.N} = 46,5$

Гц с шагом  $\Delta f = 0,1 \div 0,2$  Гц. Мощность нагрузки, отключаемая каждой очередью, тщательно рассчитывается с учетом того, что по мере отключения потребителей дефицит

уменьшается.

Если в течение некоторого времени, начиная с  $t_1 = 5$  с, частота не восстанавливается до значения, близкого к номинальному, т.е. утяжеленный режим ЭЭС продолжается, то приходят в действие устройства АЧРП (обычно не более пяти очередей), имеющие одну установленную частоту срабатывания  $f_{\text{н.д.П}} = 49,2$  Гц, но различающиеся по времени действия ( $\Delta t = 0,5$  с). Эти устройства производят дополнительное отключение потребителей, обеспечивая подъем частоты.

Категория АЧРП устанавливается на подстанциях сильно дефицитных частей ЭЭС, в которых возможно очень быстрое снижение частоты до опасного уровня (45 Гц). Устройства этой категории контролируют скорость изменения частоты: производная  $df/dt$  является показателем дефицита мощности и вероятной глубины снижения частоты.

#### **- Автоматика частотного пуска и загрузки гидрогенераторов**

Обладающие способностью быстро разогнаться и набирать нагрузку гидрогенераторы используются как резервные источники мощности для покрытия ее дефицита, вызывающего снижение частоты в электроэнергетической системе. Автоматика частотного пуска и загрузки выдающих неполную мощность, или работающих в режиме синхронного компенсатора гидрогенераторов эффективно способствует прекращению снижения и последующему восстановлению частоты. При ее действии обычно не происходит отключение потребителей устройствами АЧРП.

### ***Техническая реализация АПНУ и АЛАР на интегральной микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе – 2 ч.***

**Автоматические устройства «Сириус» и «Орион-М»** выпускаются НТФ «Радиус» (г. Москва) и предназначаются для собственных нужд ЭС и распределительных сетей с изолированной или компенсированной нейтралью. Выполняют функции:

- отключения междуфазных КЗ программной трехступенчатой токовой защитой: ненаправленной («Сириус»), направленной с обратозависимой выдержкой времени третьей ступени («Орион-М»);
- отключения однофазных замыканий на землю программной защитой, действующей от высших гармоник тока нулевой последовательности;
- отключений при несимметрии, в частности «потере» фазы, токовой защитой обратной последовательности;
- резервирования отказа в действии выключателей на отключение КЗ;
- исполнения воздействий автоматики частотной загрузки (АЧР);
- повторного включения выключателей, отключенных релейной защитой и АЧР;
- фиксирования и хранения обширной информации о девяти последних аварийных ситуациях, о запусках и действиях устройства и производимых противоаварийных отключениях и включениях.

*Интегрированное микропроцессорное устройство противоаварийной автоматики «Сириус»* обладает особенностями, обуславливающими его информационные и технические достоинства:

- использование для действия на отключение замыканий на землю гармонических составляющих тока нулевой последовательности - независимость действия от степени компенсации емкостного тока замыкания на землю;
- вычисление расстояния до места КЗ;
- сохранение работоспособности устройства в течение некоторого времени (не менее 0,5 с) после пропадания напряжения источника питания;
- возможности дистанционного ввода уставок и переноса информации о действиях устройства в ПЭВМ;

- расширенный диапазон рабочих температур (от —20 до +50 °С).

**Основные виды современных и перспективных автоматических устройств и систем управления в нормальных и аварийных режимах энергосистемы. Автоматические синхронизаторы синхронных генераторов с вычисляемым углом опережения. – 2 ч**

**Включение генераторов на параллельную работу методом самосинхронизации**

Разрешается включение следующих типов генераторов:

гидрогенераторов вне зависимости от типа, мощности и схемы присоединения;

турбогенераторов, работающих в блоке с трансформаторами;

турбогенераторов мощностью до 3000 кВт;

турбогенераторов мощностью более 3000 кВт, работающих на сборные шины, если периодическая составляющая переходного тока не превышает 3,5 номинального тока генератора.

Периодическая составляющая переходного тока при включении генератора

$$I_{пер.} = \frac{U_C}{x'_d + x_C} \leq 3,5 \cdot I_{ном.ген.},$$

где  $U_C = 1,05 \cdot U_{ном} / \sqrt{3}$  – напряжение электрической сети до включения, приведенное к ступени генератора;

$x'_d$  – относительное переходное реактивное сопротивление генератора, принимаемое из справочников;

$x_C$  – приведенное к мощности генератора относительное реактивное сопротивление электрической сети, определяемое по схеме замещения.

Для турбогенераторов с непосредственным охлаждением обмоток по рекомендации заводов-изготовителей величина периодической составляющей переходного тока принимается меньше:

$$I_{пер.} \leq 2,8 \cdot I_{ном.ген.}.$$

Остаточное напряжение на шинах генератора

$$U_{ост.} = \frac{U_C \cdot x'_d}{x'_d + x_C} \leq U_{доп.раб.},$$

где  $U_{доп.раб.}$  – допустимое рабочее напряжение.

Напряжение срабатывания реле контроля отсутствия напряжения на выводах генератора

$$U_{ср.} = \frac{(0,1 \div 0,3) \cdot U_{ном.ген.}}{n_{ТВ}}.$$

Выдержка времени синхронизатора:

$$t_{КТ} = 1 \div 2 \text{ с.}$$

**Синхронизатор с постоянным углом опережения**

Точная синхронизация позволяет включить генератор на параллельную работу с сетью в условиях, близких к идеальным. Правда, рассматриваемый синхронизатор имеет недостаток: если частоты генератора и системы очень близки, то включение возможно

раньше момента оптимума, с углом ошибки  $\delta_{ош.}$ .

Максимальная величина угла ошибки

$$\delta_{ош.макс.} = 2 \arcsin \frac{I_{доп.} \cdot x_C}{2 \cdot U_{ном}},$$

где  $I_{доп.}$  – допустимый ток (периодическая составляющая), принимаемый равным номинальному току синхронизируемого генератора;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение генератора;

$x_C$  – суммарное сопротивление синхронизируемой сети:

$$x_C = x''_{dG1} + x_{св.} + x''_{dG2}.$$

Здесь  $x''_{dG1}$  и  $x''_{dG2}$  – сверхпереходные сопротивления по продольной оси синхронизируемых генераторов;

$x_{св.}$  – эквивалентное индуктивное сопротивление элементов связи между генераторами.

Напряжение срабатывания реле, определяющего заданный угол опережения

$$U_{ср.KV2} = 2 \cdot \frac{U_{ном.}}{n_{TV}} \cdot \sin \frac{\delta_{ош.макс.}}{2}.$$

Максимальная величина скольжения

$$\omega_{s.макс.} = \frac{2 \cdot \delta_{ош.макс.}}{t_{вкл.Q}},$$

где  $t_{вкл.Q}$  – время включения выключателя.

Напряжение срабатывания реле  $KV1$ , запускающего узел контроля скольжения

$$U_{ср.KV1} = 2 \cdot \frac{U_{ном.}}{n_{TV}} \cdot \sin \frac{\omega_{s.макс.} \cdot (t_{вкл.Q} + t_K)}{2},$$

где  $t_K = 0,3 \div 0,5$  с – время работы реле времени, входящего в узел контроля скольжения.

### **Микропроцессорная электрическая часть автоматической системы регулирования (ЭЧСР) частоты вращения и активной мощностью турбогенераторов – 2 ч**

Микропроцессорная противоаварийная автоматика синхронных генераторов на терминалах REG 216 и REG 316 выполняет функции:

- традиционных автоматических устройств защитных отключений генератора при коротких замыканиях и замыканиях на землю в обмотках статора и ротора;
- отключений при опасных режимах несимметричной нагрузки, потери возбуждения, двигательном режиме;
- автоматики ограничений снижений и повышений напряжения и частоты.

В модификации REG 316(2), предназначенной для электроэнергетических блоков генератор-трансформатор, дополнительно предусмотрены функции защитного отключения при

перегревах обмоток трансформатора и повышениях давления масла.

### ***Автоматическая система управления и защиты СТК (САУЗ) – 2 ч***

Микропроцессорная автоматическая система комплексного управления и защиты статическими компенсаторами выполнена на базе микросредств управляющей вычислительной техники (МСУВТ) В7. Она производит не только автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности СТК, но и противоаварийное управление: защиту тиристорных преобразователей, ограничение перенапряжений, дискретное повышение предписанного напряжения (уставки) по сигналу противоаварийной автоматики.

Все элементы регулятора выполняются на интегральных микросхемах с использованием управляемых интеграторов в измерительных преобразователях напряжения, интегральных перемножителей в измерительных преобразователях активной мощности и дискретных логических микросхем.

### ***Цифровой автоматический регулятор напряжения трансформаторов и автотрансформаторов с УРПН. – 2 ч***

Микропроцессорная противоаварийная автоматика трансформаторов на терминале RET-316, как и французской фирмы GEC Alsthom, обладает новыми, осуществляемыми только цифровой вычислительной техникой, свойствами адаптивности, обеспечивающими реализацию принципиальных достоинств продольной токовой дифференциальной защиты.

Программно преодолеваются специфические факторы, крайне затрудняющие обеспечение высокой чувствительности продольной токовой дифференциальной защиты трансформатора. Расчетными алгоритмами производятся:

- компенсация сдвига фаз между вторичными токами измерительных трансформаторов тока на сторонах высшего и низшего напряжений, обусловленного группой соединений обмоток защищаемого трансформатора;

- выравнивание абсолютных значений вторичных токов, неравенство которых в нормальном режиме и при внешнем КЗ обуславливается численным отличием отношения коэффициентов трансформации указанных измерительных трансформаторов от коэффициента трансформации защищаемого трансформатора;

- компенсация дискретных изменений абсолютных значений вторичных токов при действиях микропроцессорного автоматического регулятора коэффициента трансформации SPAU341.

### ***Интегральные микропроцессорные устройства противоаварийной автоматики, программно выполняющие функции АПВ, АВР, АЧР основного вида АОСЧ и частотного АПВ. – 2 ч***

Автоматическое регулирование частоты и управление активной мощностью является главной задачей автоматизированного диспетчерского управления режимами работы ЭЭС, ОЭС и ЕЭС. Соответствующие автоматические устройства образуют централизованную автоматическую систему регулирования частотой и мощностью (ЦАРЧМ), функционирующую по ступенчато-иерархическому принципу.

Нижним ее уровнем являются АСУ ТП гидро-, тепловых и атомных электростанций. Второй уровень образуют автоматические устройства, установленные на диспетчерских пунктах ЭЭС. В соответствии с расчетами по прогнозированию графика нагрузки и его оптимальному по технико-экономическим показателям выполнению УВК, используя технические средства передачи информации, выдают почасовые графики нагрузок – задания плановой мощности и определяют участие частоторегулирующих электростанций в покрытии изменений внеплановой мощности ЭЭС. Новой по сравнению с общестанционной АСУ ТП

функцией автоматизированной системы управления ЭЭС является контроль и ограничение перетоков мощности по линиям электропередач по условию сохранения статической устойчивости электроэнергетической системы.

Указанная задача ограничения перетоков мощностей становится главной для автоматических устройств управления частотой и активной мощностью ОЭС, часто содержащих линии связи между ЭЭС, входящими в объединение, с ограниченной пропускной способностью. Они образуют третий (верхний) уровень автоматической системы управления частотой и мощностью. Ее высшим (четвертым) уровнем является комплекс автоматических устройств, установленных в Центральном диспетчерском управлении (ЦДУ) Единой электроэнергетической системой.

Накопленный опыт эксплуатации аналоговой ЦАРЧМ, разработанной в ОАО «Энергосетьпроект», способствовал разработке и внедрению цифровой автоматической системы регулирования частоты и мощности в ЕЭС с расширенными функциями и новыми свойствами:

- способностью приспосабливаться (свойством адаптации) к изменениям режимов работы и складывающейся ситуации в ОЭС и ЕЭС;
- обеспечением технически рационального совместного использования гидравлических и тепловых электростанций в общем процессе производства и передачи электроэнергии;
- реализацией сложных взаимосвязей при анализе текущих режимов, выявлением их нарушений и определения оптимальных управляющих воздействий;
- повышением работоспособности управляющего комплекса в целом и предотвращением неправильных его действий при неисправностях отдельных элементов;
- повышением помехоустойчивости за счет достоверизации используемой информации;
- обеспечением диспетчера информацией, достаточной для оценки текущего режима и контроля за его изменениями при действии ЦАРЧМ.

### ***Программная функция однофазного АПВ (ОАПВ) линий сверхвысокого напряжения. – 2 ч***

Наиболее интегрированной является противоаварийная автоматика линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжений, функционирующая на терминалах REL-511R и REL-521 компании «АББ Реле -Чебоксары», как и на терминалах 7SA513 немецкой фирмы Siemens. Они выполняют следующие функции устройств защиты и собственно противоаварийной автоматики:

- дистанционной (на терминалах REL-561 — дифференциальной) как от междуфазных, так и однофазных КЗ;
- ступенчатой токовой нулевой последовательности от КЗ на землю;
- ступенчатой токовой от междуфазных КЗ;
- резервирования отказов выключателей в действии на отключение;
- отключения при включении линии на КЗ (закоротку);
- обеспечения недействия дистанционной защиты при качаниях в электроэнергетической системе и повреждениях в цепях измерительного трансформатора напряжения;
- трехфазного и однофазного повторного включения линии, трехфазного любого вида, в том числе с синхронизацией;
- ограничения снижения и повышения напряжения;
- определения места повреждения линии электропередачи;
- фиксирования действующих значений напряжения и тока, активной и реактивной мощностей в линии и частоты;
- регистрации аварийных ситуаций.

Терминалы обеспечивают программную настройку дистанционной защиты на пять (три фиксированные и две расширяемые ускоренного отключения), а токовой нулевой последовательности — на четыре зоны (ступени), т.е. высокую степень дальнего резервирования.



ния.

### ***Программно-технический комплекс автоматического дозирования (АДВ) и запоминания (АЗД) противоаварийных управляющих воздействий АПНУ – 2 ч***

Алгоритм автоматической дозировки противоаварийных управляющих воздействий содержит три комплекса основных функциональных программ:

- обработки информации и предварительных расчетов условий сохранения синхронной устойчивости параллельной работы;
- собственно программы расчетов дозированных управляющих воздействий для каждого из пусковых органов;
- вывода и передачи дозированных воздействий в устройство АЗД.

Предварительные расчеты являются общими для всех пусковых органов и служат для определения параметров, необходимых для выработки дозированных управляющих воздействий.

Расчеты дозирования управляющих воздействий производятся для следующих стадий электромеханических переходных процессов:

- возникновения возмущения и необходимых мер для предотвращения нарушения динамической устойчивости электропередачи;
- сохранения статической устойчивости в послеаварийном режиме до действия автоматических регуляторов частоты и мощности на частоторегулирующих электростанциях;
- статической устойчивости нового установившегося режима в процессе и после действия автоматической системы регулирования частоты и мощности.

Дозированные противоаварийные управляющие воздействия вырабатываются в общем случае на основе полиномиальных алгоритмов и в соответствии с разработанными методами определения возможных областей устойчивости в координатах режимных параметров и коэффициентов настройки автоматических регуляторов, их анализа по критериям устойчивости. Производится проверка сохранения устойчивости при реализации выработанных воздействий. Выбор из возможных вариантов наборов и интенсивности управляющих воздействий производится итеративно с последовательным их перебором. Программа вывода принятого варианта дозированных управляющих воздействий и передачи их в устройства АЗД запускается после каждого из циклов расчетов.

### ***Микропроцессорная реализация АЛАР – 2 ч***

Функциональные достоинства, обработка информации и выработка противоаварийных управляющих воздействий в реальном времени электромеханического переходного процесса развития асинхронного режима обеспечиваются быстродействующими алгоритмами:

- выделения колебательной составляющей напряжения промышленной частоты нерекурсивными цифровыми частотными фильтрами, разлагающими напряжения на ортогональные составляющие;
- формирования цифровых сигналов информации об их амплитудах, фазах и частоте, о симметричных составляющих напряжений прямой последовательности;
- вычислений угла сдвига фаз между моделируемыми ЭДС и вычислений скольжения и его производной с использованием ортогональных составляющих.

Надежность срабатывания ступеней АЛАР, т.е. выдачи противоаварийных управляющих воздействий, обеспечивается:

- автоматическим контролем исправности всех функциональных элементов и микропроцессора МШ (элемент контроля ЭК) с выдачей информации о неисправностях;
- контролем правильности прохождения программ посредством различных «программных ловушек», исключая возникновение отказов в действии вследствие программных сбоев;
- периодическим генерированием сервисным микропроцессором МП2 тестовых сигналов.

Микропроцессорная АЛАР является одним из наиболее совершенных, созданных за последнее время, цифровых устройств автоматического управления электроэнергетическими системами.

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

Изложены в учебном пособии:

*Козлов А.Н., Ротачев Ю.А.*

**Релейная защита и автоматика:** Учебно-методическое пособие для студентов заочного и ускоренного обучения. – 2-е изд., перераб. и доп. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

Учебное пособие есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

### ***Методические указания по выполнению лабораторных работ***

Изложены в учебном пособии:

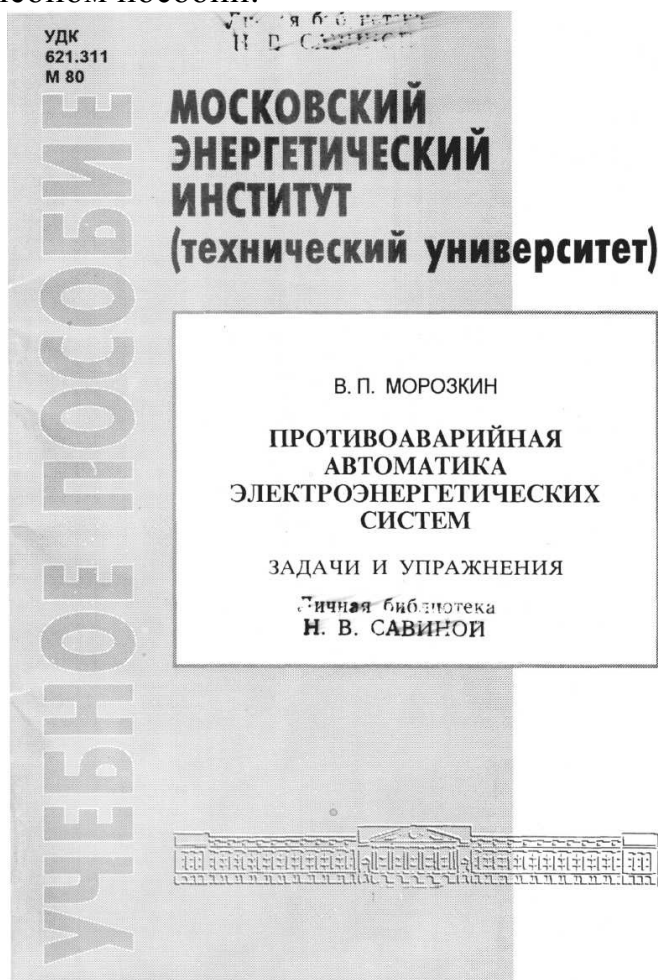
*Козлов А.Н., Ротачева А.Г.*

**Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика:** Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

Учебное пособие есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

### ***Методические указания к практическим занятиям***

Изложены в учебном пособии:



Электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

### ***Методические указания к выполнению контрольных работ***

Выполнение контрольных работ по данной дисциплине не запланировано

### ***Перечень программных продуктов***

При выполнении индивидуальных заданий по практическим занятиям, подготовке отчетов по лабораторным работам студентам рекомендуется пользоваться пакетами прикладных программ Microsoft Office Visio, Mathcad, Word, и др.

### ***Методические указания по применению современных информационных технологий***

Большое количество сложного иллюстративного материала – схем устройств автоматики, алгоритмов – требует применения мультимедийного оборудования. В настоящее время идет комплектация альбома вспомогательного материала и иллюстраций и перевод в электронную форму, поэтому в настоящем издании УМКД иллюстрации не приведены.

### ***2.1.13. Методические указания по организации межсессионного и экзаменационного контроля знаний***

**1. Входной контроль.** Проводится лектором на одном из первых занятий. Цель – оценить степень освоения разделов предыдущих дисциплин, необходимых при изучении читаемого курса.

Форма контроля – тестовые задания, разрабатываемые лектором.

Оценка не выставляется, т.к. основное назначение входного контроля – выявление пробелов и «слабых мест» у большей части аудитории и внесение соответствующих корректив в планы проведения лекционных и практических занятий.

**2. Межсессионный контроль (контрольные точки).** Проводится по результатам выполнения и защиты лабораторных работ, либо по результатам практических занятий. Если учебным планом лабораторные и практические занятия не предусмотрены, контрольная точка проставляется лектором на основании решения студентами тестовых заданий промежуточного контроля.

Критерии оценки:

«отлично» - студент работает в соответствии с рабочим учебным планом; все задания выполнены и защищены;

«хорошо» - студент работает в соответствии с рабочим учебным планом; задания своевременно выполнены, но частично - не защищены;

«удовлетворительно» - работа студента – не в полном соответствии с рабочим учебным планом: задания выполнены, но защиты не было;

«неудовлетворительно» - работа студента – не в полном соответствии с рабочим учебным планом: большая часть заданий не выполнена (в том числе и из-за пропусков);

«не аттестован» - при очень большом количестве пропусков занятий и практически полном невыполнении рабочего учебного плана.

### **3. Экзаменационный контроль.**

#### **3.1. Курсовые проекты и работы.**

Защищаются перед специальной комиссией, выделенной кафедрой, с участием непосредственного руководителя проекта (работы) и рецензента.

Критерии оценки:

«отлично» - проект (работа) выполнен грамотно, аккуратно, в соответствии с ГОСТ. Допущенные ошибки и неточности не влияют на основные выводы по проекту (работе). Студент свободно ориентируется в вопросах, затронутых в проекте (работе); при наличии графической части – умеет «прочитать» чертеж и дать необходимые пояснения;

«хорошо» - проект (работа) выполнен грамотно, аккуратно, в соответствии с ГОСТ. Допущенные ошибки и неточности не влияют на основные выводы по проекту (работе), но при защите студент допускает неточности в ответах на вопросы членов комиссии по пояснительной записке и графической части;

«удовлетворительно» - проект (работа) выполнен грамотно, аккуратно, в соответствии с ГОСТ. Допущенные ошибки и неточности не влияют на основные выводы по проекту (работе), но при защите выявляется, что студент испытывает заметные затруднения и допускает серьезные неточности в ответах на вопросы членов комиссии по пояснительной записке и графической части;

*либо* проект (работа) выполнен с отступлениями от требований ГОСТ, с ошибками, отражающимися на основных выводах по проекту (работе), даже если на защите студент может объяснить, как следует исправлять допущенные ошибки;

«неудовлетворительно» - проект (работа) выполнен с грубыми ошибками, влияющими на основные выводы по проекту (работе), *либо* на защите студент не может объяснить, как следует исправлять допущенные ошибки, *либо* допускает грубые ошибки в ответах на вопросы членов комиссии по пояснительной записке и графической части. ***В любом случае проект возвращается на доработку.***

#### **3.2. Экзамены.**

На экзамены выносятся материал дисциплины за семестр. При необходимости в билеты могут включаться основные вопросы, рассмотренные в предыдущем семестре. Перечень вопросов, включаемых в билеты, доводится до сведения студентов до начала подготовки к экзамену.

В билеты включаются не менее двух вопросов по лекционной части курса и в обязательном порядке – хотя бы один вопрос по практической части, или задача.

Критерии оценки:

«отлично» - выполнены все задания билета; студент свободно ориентируется в теоретических и практических вопросах и правильно отвечает на дополнительные вопросы;

«хорошо» - выполнены все задания билета, но студент допускает неточности в ответах на теоретические и практические вопросы, в т.ч. и на дополни-

тельные;

«удовлетворительно» - выполнено практическое задание билета. Ответы на теоретическую часть билета – неполные, с ошибками, но на дополнительные вопросы ответы – в принципе верные;

«неудовлетворительно» - не выполнено практическое задание билета, либо при ответах на теоретическую часть билета и дополнительные вопросы допущены грубые ошибки и неточности, показывающие, что студент имеет серьезные пробелы в освоении дисциплины.

**4. Контроль остаточных знаний.** Проводится по тестовым заданиям, разработанным кафедрой. Критерии оценки разрабатываются под каждый блок тестов, но общие рекомендации - следующие:

«отлично» - правильные ответа даны на 75% вопросов теста и более;

«хорошо» - правильные ответа даны на 60-75% вопросов теста;

«удовлетворительно» - правильные ответа даны на 50-60% вопросов теста;

«неудовлетворительно» - правильные ответа даны менее чем на 50% вопросов теста.

#### **2.1.14. Комплекты заданий для лабораторных и практических работ**

Задания по лабораторным работам – в учебном пособии: *Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 3. Электроавтоматика: Учебное пособие.* – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006.

Содержание пособия:

Введение	3
<i>Лабораторная работа 1.</i> Автоматическое включение резервного источника питания (АВР)	4
<i>Лабораторная работа 2.</i> Полуавтоматическая синхронизация генераторов	24
<i>Лабораторная работа 3.</i> Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и частотное АПВ	30
<i>Лабораторная работа 4.</i> Автоматическое повторное включение (АПВ)	35
<i>Лабораторная работа 5.</i> Делительная автоматика	56
<i>Лабораторная работа 6.</i> Устройство резервирования отказов выключателей (УРОВ)	64
Литература	81
<i>Приложение</i> Условные позиционные обозначения элементов вторичных цепей	82

Учебное пособие есть в библиотеке энергетического факультета; кроме того, электронный вариант пособия включен в электронную библиотеку кафедры энергетики. Студенты могут записать его на свои носители.

### **2.1.15. Фонды тестовых и контрольных заданий для оценки качества знаний по дисциплине**

Тестовые задания для экспресс-опроса и для контроля остаточных знаний в настоящее время разрабатываются.

### **2.1.16. Комплекты экзаменационных билетов и контрольные вопросы к зачету.**

Билеты для экзамена по первой части курса (для специальности 140203):

#### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Классификация устройств автоматики энергосистем
2. Синхронизатор с постоянным углом опережения

#### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Требования к схемам АПВ и их реализация (на конкретной схеме)
2. Очереди и категории АЧР

#### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. АПВ на выключателях с пружинными и грузовыми приводами. Реализация требований к схемам АПВ
2. Автоматическое включение генераторов на параллельную работу.

#### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. АПВ на выключателях с электромагнитными приводами.
2. АВР трансформатора. Требования к схеме и ее работа

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Варианты АПВ на ЛЭП с двусторонним питанием.
2. АРВ на генераторах с ВЧ-возбуждением

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. УРОВ. Работа в схеме «четырёхугольника» при отказе еще одного элемента.
2. Устройство полуавтоматической самосинхронизации

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. НАПВ, БАПВ – возможность применения
2. Синхронизатор с постоянным временем опережения

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. ОАПВ – назначение, особенности работы.
2. Регуляторы скорости турбин. Когда и как они работают?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Автоматический ввод резерва – требования. Реализация на схемах
2. УРОВ. Принципы выполнения, назначение. Работа схемы УРОВ

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. АРЧМ. Регуляторы скорости турбин.
2. АВР секций собственных нужд станций. Работа схемы.

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. АРВ генераторов. Назначение. Токовое компаундирование. Корректор напряжения.
2. Работа устройств автоматики при переходе «нормальный – аварийный - послеаварийный режим»

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. АРВ. Фазовое компаундирование.
2. АВР шин при наличии синхронного двигателя.

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. АРВ СД.
2. АЧР – требования. Согласование работы АЧР, АПВ, АВР

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » июня 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *четвертый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

1. АРКТ. Принципы выполнения. Основные узлы.
2. Двукратное АПВ. Работа схемы, реализация требований к АПВ.



## Билеты для экзамена по второй части курса (для специальности 140203):

### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

3. АПВ – назначение; основные требования к схемам АПВ
4. В чем состоят задачи автоматического регулирования возбуждения синхронных машин?

### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Какой алгоритм автоматического регулирования возбуждения называется «АРВ СД»? При каких возбудителях он эффективно реализуется?
2. В чем состоит противоаварийная роль автоматики включения резервного электрооборудования?

### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Почему необходимо автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности электрической станции? Как оно выполняется?
2. Каковы достоинства и условия осуществления ОАПВ?

### АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Каково назначение и в чем особенности автоматического регулирования коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов?
2. В связи с чем необходимо опережающее воздействие на включение выключателя генератора при его точной автоматической синхронизации и какие известны способы его обеспечения?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Как различаются синхронизаторы по способам выбора момента времени включения привода выключателя генератора при точной автоматической синхронизации?
2. Что такое зона нечувствительности АРКТ? Зачем она нужна?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Какие электрические величины используются автоматическим синхронизатором с постоянным углом опережения?
2. Почему необходимы временные задержки действия АПВ и АВР, снижающие их эффективность?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Управляемое фазовое компаундирование – принцип выполнения, особенности работы
2. Какие электрические величины используются автоматическим синхронизатором с постоянным временем опережения?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Регулирование частоты вращения турбин. Почему неосуществимо астатическое регулирование частоты вращения турбины?
2. Очереди и категории АЧР – характеристики, уставки

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

- 1 Как выглядят и чем отличаются статическая и астатическая характеристики автоматического регулирования частоты вращения турбины?
- 2 При каких условиях возможно использование делительной автоматики со счетчиком циклов асинхронного хода?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

- 1 Как функционирует гидродинамический АРЧВ паровой турбины?
- 2 В чем назначение автоматических отключений при снижениях действующего значения и частоты напряжения?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

- 1 По какому критерию производится распределение нагрузки тепловой электростанции между параллельно работающими турбогенераторами?
- 2 Почему автоматы АЧР-I многочисленны и имеют разные установленные частоты срабатывания, а АЧР-II малочисленны и имеют одну частоту срабатывания?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

- 1 Какие управляемые источники реактивной мощности применяются на электростанциях и узловых подстанциях магистральных электропередач? Почему они должны быть реверсивными?
- 2 Что такое «электрический центр системы»? Почему важно знать место его расположения?

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

- 1 Почему синхронные генераторы могут потреблять ограниченную реактивную мощность?
- 2 Пусковые органы АЛАР.

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры  
« 04 » декабря 20... года

Заведующий кафедрой

Утверждаю: \_\_\_\_\_

Кафедра *энергетики*

Факультет *энергетический*

Курс *пятый*

Дисциплина: *Автоматика электрических систем*

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

- 1 В каких частях электроэнергетических систем целесообразно применение автоматов АЧР-III? В чем состоят их особенности?
- 2 Как действует автоматическое устройство релейной форсировки возбуждения синхронных генераторов с электромашинным возбудителем постоянного тока? Назначение форсировки?

Вопросы к зачету (для специальности 140204):

1. Классификация устройств автоматики
2. Возможные варианты развития аварийного процесса
3. Назначение и принципы выполнения УРОВ
4. Особенности работы схем УРОВ при различном исполнении распределительных устройств
5. Система противоаварийного управления в электроэнергетических системах
6. Регуляторы скорости турбин
7. Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)
8. Автоматическое регулирование возбуждения генераторов (АРВ) – назначение
9. Токовое компаундирование
10. Корректор напряжения
11. Фазовое компаундирование
12. АРВ генераторов с ВЧ-возбуждением
13. АРВ сильного действия (АРВ СД)
14. Автоматическое регулирование коэффициентов трансформации силовых трансформаторов (АРКТ)
15. Автоматическое включение генераторов на параллельную работу
16. Устройства автоматической и полуавтоматической самосинхронизации
17. Устройство точной синхронизации с постоянным углом опережения
18. Устройство точной синхронизации с постоянным временем опережения
19. Синхронизаторы на микропроцессорной базе
20. Микропроцессорная автоматическая система управления напряжением и реактивной мощностью

**2.1.17. Карта обеспеченности дисциплины кадрами профессорско-преподавательского состава**

**для специальности 140203**

Вид нагрузки	Профессорско-преподавательский состав
Лекции	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Практические занятия	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Лабораторные работы	Бодруг Н.С., ассистент
Курсовая работа	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Экзамен	Козлов А.Н., к.т.н., доцент

**для специальности 140204**

Вид нагрузки	Профессорско-преподавательский состав
Лекции	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Практические занятия	Козлов А.Н., к.т.н., доцент
Зачет	Козлов А.Н., к.т.н., доцент