

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н. В. Савина

# УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Методические указания для самостоятельной работы

Благовещенск  
Издательство АмГУ  
2013

Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» (ОАО «ДРСК»)

Рецензенты:

А.А. Гаврилов, заместитель начальника департамента - начальник отдела социальной политики ОАО «ДРСК».

Д.А. Теличенко, доцент кафедры АППиЭ ФГБОУ «Амурский государственный университет» (АмГУ, г. Благовещенск), канд. техн. наук.

Савина Н.В.

У67 Управление потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях: методические указания для самостоятельной работы / Н. В. Савина. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 24 с.

Методические указания для самостоятельной работы слушателей предназначены для подготовки слушателей курсов повышения квалификации по образовательной программе дополнительного профессионального образования «Интеллектуальные электроэнергетические системы на базе Smart Grid», для оказания помощи слушателям в самостоятельном изучении технологий и средств управления потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях с указанием особенностей их реализации в распределительных и магистральных сетях. Приводятся темы для самостоятельной подготовки и формы самоконтроля.

В авторской редакции.

## *СОДЕРЖАНИЕ*

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	<i>4</i>
1 Организация самостоятельной работы	<i>6</i>
1.1 Цели и задачи самостоятельной работы	<i>6</i>
1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины	<i>9</i>
2 Содержание разделов и тем, выносимых на самостоятельную работу	<i>11</i>
3 Методика работы с курсом	<i>15</i>
4 Средства обеспечения освоения дисциплины	<i>18</i>
<i>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</i>	<i>21</i>
<i>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</i>	<i>23</i>

## *ВВЕДЕНИЕ*

Одним из важнейших направлений модернизации и инновационного развития электроэнергетики является переход к созданию интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). Построение «умной» сети направлено на повышение надежности и экономичности функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС) и обеспечение потребителей электроэнергией в требуемом объеме и требуемого качества.

Отличия активно-адаптивной сети от обычной: насыщенность сети активными элементами, расположенными в узлах или территориально-распределенными и позволяющими изменять топологические параметры сети; наличие системы сбора, передачи и обработки информации (включая программное обеспечение) и программы адаптивного управления с возможностью воздействия в реальном масштабе времени на активные элементы сети и электроустановки потребителей; средства и принципы управления должны быть общими для всей системы, независимо от собственника.

В настоящее время в электроэнергетических системах регулирование напряжения реализуется организационно-технической системой, которая обеспечивает поддержание напряжения по графику в контрольных пунктах (КП) и, в допустимых пределах, - во всех точках сети. Основа системы – локальные автоматические регуляторы генераторов и РПН силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Основную роль играют генераторы, а устройства РПН осуществляют первичное регулирование. Однако этого недостаточно не только для обеспечения оптимальных значений напряжения в узлах, но и для поддержания уровней напряжения в допустимых пределах в ряде ремонтных и послеаварийных режимов. Сложности с оптимальным регулированием напряжения в ЭЭС возникают по разным причинам, которые можно объединить в одну глобальную – отсутствие методологии и принципов адаптивного управления, достаточных средств автоматизации и самих

источников реактивной мощности. Часто складываются ситуации, когда в ремонтных режимах при централизованном регулировании напряжения в одной части ЭЭС напряжение будет ниже номинального, а в другой части напряжение будет близко к максимально допустимому. Тогда централизованное регулирование напряжения только за счет изменения генерации реактивной мощности источниками питания оказывается не эффективным. В электрических сетях задача регулирования напряжения напрямую связана с возможностью передачи мощности от генерации к потребителям. Снижение уровней напряжения на узловых подстанциях в ремонтных и послеаварийных режимах является основной причиной, требующей снижения перетока мощности для обеспечения статической устойчивости. Подключение новых потребителей или развитие существующих только усугубляет ситуацию. Проблема снижения напряжения при ремонте ВЛ 220 или 110 кВ связана с тем, что уменьшается генерируемая воздушными линиями зарядная мощность. Кроме того, при отключении одной из ВЛ, нагрузка переходит на оставшиеся в работе линии, в которых увеличиваются потери реактивной мощности, что приводит к снижению напряжения на приемном конце, в результате чего уменьшается зарядная мощность ВЛ и происходит еще большее снижение напряжения. Исходя из того, что проблемы с напряжением возникают во время аварий, которые являются случайными событиями, для исключения ситуаций нарушения статической устойчивости, необходимо обеспечивать автоматическое управление источниками реактивной мощности (ИРМ).

К вопросам регулирования напряжения относятся также и аспекты проблемы качества электроэнергии, которые ставятся в основном как задачи поддержания уровней напряжения в требуемом ГОСТом диапазоне в различных точках сети в различных режимных условиях.

Таким образом, актуальным и эффективным способом регулирования напряжения в электрических сетях является установка дополнительных источников реактивной мощности, которые, будучи выполненными в управляемом исполнении, являются элементами активно-адаптивной сети.

## **1 Организация самостоятельной работы**

При самостоятельной работе над разделами теоретического курса слушателям необходимо:

самостоятельно изучить дополнительные материалы по программе теоретического курса в соответствии с индивидуальным планом подготовки составленным дополнительно к учебно-тематическому плану учебной дисциплины в зависимости от квалификации или специфики трудовой деятельности;

подготовить устные ответы на контрольные вопросы, приведенные после каждой темы;

пройти тестирование.

Темы на самостоятельное изучение преподаватель выдает слушателям на консультациях после собеседования со слушателями или входного контроля.

### **1.1 Цели и задачи самостоятельной работы**

Целью курса «Управление потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях» является повышение профессионального уровня, профессиональной компетентности и получение дополнительного образования в области интеллектуальных электроэнергетических систем путем приобретения новых профессиональных компетенций по управлению потоками реактивной мощности в активно-адаптивных магистральных и распределительных электрических сетях (современная концепция – SmartGrid).

С целью овладения указанным видом профессиональной деятельности и соответствующими профессиональными компетенциями слушатель курсов должен:

осуществлять переход от традиционной электроэнергетики к интеллектуальным энергосистемам;

освоить практический опыт по вопросам рациональной компенсации реактивной мощности в интеллектуальных системах (Smart Grid);

научиться выбирать оптимальные параметры технических средств компенсации реактивной мощности;

оптимизировать режимы активной и реактивной мощности системы электроснабжения;

разрабатывать комплекс задач для АСУ компенсацией реактивной мощности.

В процессе выполнения практических (лабораторных) занятий слушатель должен приобрести умения:

системного решения комплекса задач как организационного, так и технического уровня, направленного на снижение эквивалентных среднегодовых расходов с учетом всех возможных режимов работы сети;

оценки влияния реактивной мощности на режим напряжения и качество электроэнергии, пропускную способность сети;

применения имеющихся результатов разработок в области интеллектуальных энергетических систем для выполнения мероприятий и подготовки систем электроснабжений к внедрению Smart Grid;

управления реактивной мощностью в интеллектуальных системах электроснабжения;

оценки требований к системе автоматического управления напряжением и реактивной мощностью;

повышения энергоэффективности работы систем электроснабжения за счет снижения потерь электроэнергии, обусловленного установкой в сетях компенсирующих устройств.

Задачей курса является:

изучение современной концепции построения интеллектуальных систем электроснабжения на основе технологий Smart Grid, современного программного обеспечения задач инновационных технологий, зарубежного опыта применения активно-адаптивных элементов в интеллектуальных сетях и

оценка возможности их применения в России;

изучение характеристик технических средств, используемых для регулирования реактивной мощности и напряжения в активно-адаптивной сети;

изучение методологии построения автоматической адаптивной системы управления потоками реактивной мощности в магистральных электрических сетях;

изучение инфраструктуры технологического управления напряжением и потоками реактивной мощности;

изучение алгоритмов централизованного управления напряжением и реактивной мощностью;

повышение надежности работы распределительной сети за счет выбора оптимальных параметров технических средств компенсации реактивной мощности.

Задачи самостоятельной работы следующие:

ознакомиться с мировыми достижениями в области Smart Grid;

ознакомиться с проблемами научно-технического характера по построению интеллектуальных систем и управлению ими, современными технологиями электроэнергетической и электротехнической промышленности, научно-правовой и технической политики в области технологий и проектирования объектов Smart Grid;

приобрести опыт принятия технических решений и разработки проектов в области Smart Grid;

научиться оценивать повышение энергоэффективности работы систем электроснабжения за счет снижения потерь электроэнергии, обусловленного установкой в сетях компенсирующих устройств;

способствовать расширению кругозора, проявлению самостоятельности, творческой активности в решении проблем компенсации реактивной мощности и формированию культуры разумного энергосбережения.

## 1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате освоения курса «Управление потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях» слушатель должен знать:

терминологию интеллектуальных энергетических систем (Smart Grid);

концепцию построения интеллектуальных систем в энергетике и коммуникационные технологии при реализации Smart Grid;

цели, задачи и функции создания ИЭС ААС;

реализацию идеологии ИЭС ААС и ключевые перспективы развития ЕНЭС;

технические средства активно-адаптивной сети;

построение системы автоматического адаптивного управления напряжением и реактивной мощностью (СААУН);

схему централизованного управления напряжением и реактивной мощностью;

требования к системе автоматического управления напряжением и реактивной мощностью;

проблемы надежности и качества электроэнергии в ЭЭС.

В результате прохождения курса слушатель должен уметь:

системно решать комплекс задач как организационного, так и технического уровня, направленного на создание системы автоматического адаптивного управления напряжением и реактивной мощностью с учетом всех возможных режимов работы сети;

выбирать типы компенсирующих устройств;

выбирать оптимальные параметры технических средств компенсации реактивной мощности;

выбирать места установки технических средств компенсации реактивной мощности;

оптимально распределять источники реактивной мощности в электрических сетях;

оценивать эффект от компенсации реактивной мощности;

оптимизировать режимы активной и реактивной мощности;

управлять реактивной мощностью в интеллектуальных системах электроснабжения;

оценивать управляемость ИЭС ААС;

выбирать управляемые устройства компенсации реактивной мощности: статические и электромашинные;

выбирать устройства регулирования параметров сети;

выбирать устройства продольно-поперечного включения;

оценивать, выбирать и разрабатывать структурные схемы устройств FACTS;

разрабатывать комплекс задач для АСУ компенсацией реактивной мощности.

## 2 Содержание разделов и тем, выносимых на самостоятельную работу

### План и виды занятий

№	Наименование разделов	Всего часов	В том числе			Форма контроля
			лекции	ПЗ	круглый стол	
1.	Влияние реактивной мощности на режим напряжения и качество электроэнергии, пропускную способность сети. Теоретические аспекты	10	8	2		блиц-опрос
2.	Переход от традиционной электроэнергетики к интеллектуальным энергосистемам	10	6	2	2	блиц-опрос
3.	Характеристика технических средств, используемых для регулирования реактивной мощности и напряжения в активно-адаптивной сети	10	8	2		блиц-опрос
4.	Методология построения автоматической адаптивной системы управления потоками реактивной мощности в магистральных электрических сетях	10	6	2	2	блиц-опрос
5.	Инфраструктура технологического управления напряжением и потоками реактивной мощности	10	8	2		блиц-опрос
6.	Алгоритмы централизованного управления напряжением и реактивной мощностью	10	6	2	2	блиц-опрос
7.	Требования к системе автоматического управления напряжением и реактивной мощностью	10	8		2	блиц-опрос
8.	Итоговая аттестация по программе	2		2		тестирование
9.	Итого:	72	50	12	8	2

## **1. Влияние реактивной мощности на режим напряжения и качество электроэнергии, пропускную способность сети. Теоретические аспекты**

Баланс активных и реактивных мощностей. Условия баланса. Связь активной мощности с частотой. Связь реактивной мощности с напряжением. Причины нарушения баланса. Работа системы с дефицитом активной (реактивной) мощности. Снижение перетоков реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности.

Влияние реактивной мощности на режим напряжения и качество электроэнергии. Типы электроприемников и характеристики нагрузки. Зависимость напряжения в узлах от реактивной мощности. Регулирующий эффект нагрузки. Нарушение устойчивости узлов нагрузки.

Влияние реактивной мощности на потери мощности и электроэнергии и пропускную способность электрических сетей. Эффект от компенсации реактивной мощности. Условия определения мощности компенсирующих устройств.

## **2. Переход от традиционной электроэнергетики к интеллектуальным энергосистемам**

Концепция Smart Grid. Цели, задачи и функции создания ИЭС ААС. Реализация идеологии ИЭС ААС. Ключевые перспективы развития ЕНЭС. Проблема надежности ЭЭС. Понятие системной и режимной надежности. Мероприятия по ликвидации узких мест. Проблема качества электроэнергии. Характеристика средств улучшения качества электроэнергии.

## **3. Характеристика технических средств, используемых для регулирования реактивной мощности и напряжения в активно-адаптивной сети**

Управляемость ИЭС ААС. Технические средства активно-адаптивной сети.

Управляемые устройства компенсации реактивной мощности. Батареи статических компенсаторов (БСК) и шунтирующие реакторы (ШР), обеспечивающие ступенчатое регулирование реактивной мощности. Реакторные группы, коммутируемые вакуумными выключателями (ВРГ). Управляемые шунтирующие реакторы (УШР). Статические тиристорные компенсаторы (СТК). Статические компенсаторы реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (СТАТКОМ). Электромашинные устройства: синхронные (СК) и асинхронизированные (АСК) компенсаторы.

Устройства регулирования параметров сети. Управляемые устройства продольной компенсации (УУПК); фазоповоротные устройства (ФПУ).

Устройства продольно-поперечного включения. Продольный регулятор; поперечный регулятор; комбинированный продольно-поперечный регулятор. Структурные схемы устройств FACTS.

#### **4. Методология построения автоматической адаптивной системы управления потоками реактивной мощности в магистральных электрических сетях**

Основная цель автоматического регулирования напряжения в активно-адаптивной сети. Функция регулирования напряжения и реактивной мощности. Требования к системе автоматического управления средствами компенсации реактивной мощности (СКРМ). Анализ опыта автоматического управления напряжением на уровне энергосистем. Достоинства и недостатки реализации систем автоматического управления средствами компенсации реактивной мощности в Италии, Франции, России.

Построение системы автоматического адаптивного управления напряжением и реактивной мощностью (СААУН). Цель управления. Объекты управления. Средства управления. Принцип управления. Алгоритмы управления. Уровни управления. Выбор классов задач интеллектуального управления.

Принципы построения группового регулятора напряжения. Автоматический групповой регулятор напряжения для энергосегмента

(энергорайона): задачи, функции, принципы, источники информации, количественные критерии оценки режима. Подсистемы автоматического группового регулятора: подсистема сбора телеинформации (ТИ) и ее первичной обработки; подсистема оценивания состояния; подсистема анализа режима, расчета уставок и выработки управляющих воздействий (УВ) на смену уставок локальных регуляторов напряжения и противоаварийной автоматики; подсистема выдачи УВ и анализа фактической работы локальных регуляторов; общая информационная платформа группового регулятора напряжения.

#### **5. Инфраструктура технологического управления напряжением и потоками реактивной мощности**

Распределенная многопроцессорная архитектура программных и аппаратных средств. Применение средств искусственного интеллекта. Основные функции информационной платформы группового регулятора напряжения. Технология мультиагентной системы, поддерживаемая средствами верхних уровней системы автоматического управления напряжением.

#### **6. Алгоритмы централизованного управления напряжением и реактивной мощностью**

Схема централизованного управления напряжением и реактивной мощностью. Блоки и процедуры схемы управления, их назначение и функции.

Анализ режима и выбор алгоритма расчета УВ. Задачи, ограничения и пути решения. Критерии оптимизации.

Идентификация параметров модели. Достоверность расчетной модели и получаемых результатов. Определение требуемой точности расчетов в зависимости от внешних условий. Включение в алгоритм управления этапа идентификации (определения) параметров схемы замещения линий и трансформаторов.

#### **7. Требования к системе автоматического управления напряжением и реактивной мощностью**

Принцип упреждения централизованного регулирования. Требования к системе и их объем. Задачи системы.

### 3 Методика работы с курсом

Самостоятельная работа является наиболее продуктивной формой образовательной и познавательной деятельности слушателя курсов повышения квалификации в период обучения. Для реализации творческих способностей и более глубокого освоения дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы: текущая и исследовательская (проблемно – ориентированная).

Текущая самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление изучаемого слушателем материала, на развитие его практических навыков и умений. Она включает в себя:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуальному заданию;
- опережающую самостоятельную работу;
- выполнение домашних заданий;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовку к блиц-опросам, тестированию.

Работа с разделом курса начинается с лекционного материала, подробно рассматривающего конкретный аспект проблемы создания Smart Grid и в частности вопросов компенсации реактивной мощности. Материалы лекции включают основные понятия, вопросы для самопроверки, ключевую информацию, позволяющие повысить эффективность усвоения основного содержания.

Затем слушатель самостоятельно изучает дополнительную литературу, выдаваемую ему при начале обучения, по мере освоения которой отвечает на контрольные вопросы. После усвоения материала слушатель самостоятельно проходит тестирования по изученным разделам. При успешном прохождении самоконтроля слушатель защищает изученный материал с использованием специализированного программного обеспечения на персональном компьютере.

Исследовательский (проблемно – ориентированный) вид самостоятельной работы направлен на:

- изучение необходимого материала для постановки задачи выполнения лабораторно-практических работ;
- подготовку и выполнение лабораторно-практических работ;
- углубленное исследование вопросов, возникших по результатам выполнения лабораторно-практических работ;
- исследовательскую работу по подготовке материала к выступлению на вебинаре (семинаре) или на «круглом столе»;
- обзор, анализ и оценка научно-исследовательских или проектно-конструкторских разработок в области компенсации реактивной мощности в интеллектуальных системах электроснабжения по выбору слушателя или по заданию координатора;
- поиск, анализ, структурирование и презентацию информации.

**На вебинарах (семинарах) предлагаются следующие виды деятельности:**

Постановка задания по работе с теоретическим разделом.

Обсуждение результатов работы по теории и постановка задания по работе с методическими материалами.

Обсуждение результатов работы с методическими материалами и постановка задания к тестированию (деловой игре) или круглому столу.

Итоговое тестирование (возможно в онлайн-режиме).

Подведение итогов.

**К каждому теоретическому разделу программы разрабатывается тест.**

Успешное выполнение заданий позволяет перейти к изучению следующего раздела. В случае отрицательной оценки, полученной по результатам тестирования, необходимо вновь вернуться к изучению содержания раздела и пройти повторное тестирование.

### *Вопросы самостоятельной работы:*

- изучение программного комплекса моделирования энергосистем PSCAD (Компания RTDS Technologies Ltd.: г. Виннипег, Канада);
- знакомство с концепцией интеллектуальных систем электроснабжения;
- знакомство с технологической платформой интеллектуальных систем электроснабжения;
- интеллектуальные системы электроснабжения с распределенной генерацией;
- выбор средств компенсации реактивной мощности и определение места их установки. Выбор способа системного регулирования реактивной мощностью КУ;
- определение мощности низковольтных батарей конденсаторов. Размещение НБК;
- определение мощности ВБК. Размещение ВБК;
- определение зависимости потерь активной мощности в синхронных двигателях от их реактивной загрузки при дискретных значениях параметров режима;
- определение зависимости потерь активной мощности в синхронных двигателях от их реактивной загрузки при случайном характере параметров режима;
- исследование влияния характера нагрузки линии электропередачи на величину потерь электрической энергии в распределительной сети;
- исследование влияния режима работы синхронного генератора на величину потерь электрической энергии в распределительных сетях;
- снижение потерь электрической энергии в радиальной распределительной сети с помощью продольной емкостной компенсации;
- снижение потерь электрической энергии в радиальной

распределительной сети с помощью поперечной емкостной компенсации;

- оптимизация режима радиальной распределительной сети путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи;

- оптимизация режима радиальной распределительной сети путем продольной емкостной компенсации;

- оптимизация режима кольцевой сети с помощью компенсации реактивной мощности синхронным компенсатором;

- оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования мощностей генерирующих электростанций;

- оптимизация потерь электрической энергии в распределительных сетях за счет регулирования напряжения в узлах сети;

- автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.

#### **4. Средства обеспечения освоения дисциплины**

При проведении практических и лабораторных занятий используется Программный комплекс моделирования энергосистем PSCAD (Компания RTDS Technologies Ltd.: г. Виннипег, Канада).

Лабораторные занятия проводятся в специализированной лаборатории «Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения с распределенной генерацией», включающей в себя:

- систему RTDS – Real Time Digital Simulator - Цифровые программно-аппаратные комплексы моделирования энергосистем в реальном времени (Компания RTDS Technologies Ltd.: г. Виннипег, Канада);

- лабораторный комплекс ООО НПП «Учтех-Профи» (г. Челябинск);

- лабораторный комплекс фирмы «Уралэнергосервис» (г. Екатеринбург);

- лабораторный комплекс ООО "Электротехнический завод "Вектор" (г. Воткинск);
- сенсорные сети ZigBee.

Лабораторно-практические занятия проводятся как в специализированной лаборатории, так и в мобильном компьютерном классе (11 ноутбуков), подключенных к беспроводным сетям ZigBee и к сети учебного корпуса энергетического факультета с выходом в *Internet*.

Занятия проводятся в интерактивной форме семинара в диалоговом режиме. В ходе занятия инициируются дискуссии, а также разбор конкретных ситуаций. Проводятся вебинары в режиме видеоконференции с приглашением ведущих специалистов. Все виды учебных занятий проводятся с использованием технических средств обучения: интерактивная доска, мультимедийное оборудование, учебно-методические материалы представлены в виде презентаций Power Point, электронных плакатов с изображением технологических процессов, оборудования, комплексных структур.

При этом используются:

- образцы передового оборудования, обеспечивающего повышение энергоэффективности и снижения энергозатрат за счет рациональной компенсации реактивной мощности в интеллектуальных системах электроснабжения;
- современное лабораторное промышленное оборудование интеллектуальных систем электроснабжения с распределенной генерацией (технология Smart Grid);
- современное программное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения;

Для текущей оценки качества освоения дисциплины и её отдельных модулей разработаны и используются следующие средства:

- список контрольных вопросов по отдельным темам и разделам;

- перечень тем научно–исследовательских работ и рефератов по наиболее проблемным задачам и вопросам теоретического и практического плана изучаемой дисциплины;
- комплекты расчетных заданий для закрепления теоретического материала;
- методические указания к практическим работам и отчеты по результатам их выполнения.

## *ЗАКЛЮЧЕНИЕ*

Показана целесообразность применения автоматически управляемых ИРМ в энергосистеме для минимизации потерь электроэнергии и обеспечения требуемого уровня надежности.

Рассмотрена методология системы автоматического адаптивного управления напряжением и реактивной мощностью, сформулированы принципы и требования к групповому регулятору напряжения для энергорайонов энергосистемы, локальным регуляторам напряжения для средств компенсации реактивной мощности, как элементам Smart Grid. Рассмотрена иерархическая структура СААУН и приведено ее функциональное описание.

Рассмотрены алгоритмы автоматического управления напряжением и потоками реактивной мощности в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах.

Наиболее эффективное регулирование напряжение обеспечивается совместным автоматическим управлением устройствами РПН автотрансформаторов и трансформаторов, источниками реактивной мощности и генераторами электрических станций. Перед вводом управляющего воздействия необходимо производить расчет режима, т.к. в зависимости от вида ремонтного (послеаварийного) режима увеличение вырабатываемой мощности источниками реактивной мощности может приводить как к снижению уровня потерь активной мощности, так и к их росту. Следовательно, нужна подсистема, которая будет осуществлять анализ и расчёт режимов перед вводом каждого управляющего воздействия и определять оптимальный вариант.

В методических указаниях представлены структура, задания и методика реализации всех видов самостоятельных работ в соответствии с учебной программой курса, что поможет слушателям курсов повышения квалификации в области компенсации реактивной мощности получить дополнительные знания и самостоятельно оценить их уровень.

Самостоятельная работа является наиболее продуктивной формой образовательной и познавательной деятельности слушателей курсов повышения квалификации в период обучения.

Рассмотрены следующие виды выполнения текущей и исследовательской (проблемно–ориентированной) самостоятельной работы:

- постановка задания по работе с теоретическим разделом;
- обсуждение результатов работы по теории и постановка задания по работе с методическими материалами;
- обзор, анализ и оценка научно-исследовательских или проектно-конструкторских разработок в области компенсации реактивной мощности в интеллектуальных системах по выбору слушателя или по заданию координатора;
- обсуждение результатов работы с методическими материалами и постановка задания к тестированию (деловой игре) или круглому столу;
- подготовка к итоговому тестированию (возможно в онлайн-режиме).

Успешное выполнение заданий самостоятельной работы позволяет полнее изучить разделы курсов повышения квалификации и приобрести необходимые навыки и умения. Это подтверждается результатами блиц-опросов, результатами самотестирования, а также результатами текущего и итогового тестирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о разработке стратегической программы исследований технологической платформы «Интеллектуальная энергетическая система России». Российское энергетическое агентство. – М.: - 2012 – 53 с.
2. Анализ мирового и российского опыта использования технологий Smart Grid. Разработка рекомендаций по применению технологий Smart Grid в российской электроэнергетике : науч. – техн. исполн. Б. Б. Кобец [и др.]. – М. : ИНВЭЛ, 2010. – 122 с. : рис. – Библиогр.: с. 84 – 85 ; 3 2 ; А64.
3. Воропай, Н.И. Smart Grid: мифы, реальность, перспективы/ Н.И. Воропай// Энергетическая политика. -2010. -№2. –С.9 -14; ЭЭ-1.2.4; ЭЭ-1.2.6
4. Глушко, С.И. Электроэнергетика нового поколения как главный критерий модернизации российской экономики. Взгляд независимого эксперта/ С.И. Глушко// Энергетическая политика. -2010. -№2. –С.42-47; ЭЭ-2.2.1
5. Данилин, И.В. От «умных» технологий к «умной» энергетике/ И.В. Данилин// Энергетическая политика. -2010. -№2. –С.22-28; ЭЭ-1.2.4
6. Кобец, Б.Б. Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом/ Б.Б. Кобец, И.О. Волкова, В.Р. О कोरोков// Энергоэксперт. -2010. -№2. –С.52-58; ЭЭ-2.2.2; ЭЭ-2.3.2
7. Лесневский, Г.Ф. О совершенствовании системы информационного обеспечения в электроэнергетике/ Г.Ф. Лесневский, В.М. Неуймин, Ф.В. Веселов// Надежность и безопасность энергетики. -2010. -№1. –С.11-15; ЭЭ-3.6
8. Новиков, Н.Л. Интеллектуальные сети (SMART GRID) и энергоэффективность/ Н.Л. Новиков// Энергетическая политика. -2010. -№2. – С.29-33; ЭЭ-1.2.4
9. О कोरोков, В.Р. Интеллектуальные энергетические системы: модель будущих систем электроснабжения/ В.Р. О कोरोков, Р.В. О कोरोков// Энергетическая политика. -2010. -№2. –С.15-21; ЭЭ-1.2.4; ЭЭ-1.2.6
10. Состояние и перспективы применения в электрических системах РФ и СНГ регулируемых источников реактивной мощности (ИРМ) с управляемыми подмагничиванием шунтирующими реакторами (УШР) и батареями конденсаторов (БСК)/ А.М. Брянцев [и др.] // Энергоэксперт. -2010. -№2. –С.88-93; ЭЭ-7.3
11. Smart Grids Europe 2010: европейцы обменялись планами по созданию энергетики будущего// Энергорынок. -2010. -№4. –С.60-69; ЭЭ-2.2.2; ЭЭ-2.3.2
12. Цымбал, А. Интеллектуальные технологии в электроэнергетике/ А. Цымбал, А. Коптелов// Энергорынок. -2010. -№4. –С.57-59; ЭЭ-7
13. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть — новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. — 2009. — № 4.
14. Шумилова, Г. П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева ; Ин-т соц.-экон. и энергет. проблем Севера Коми НЦ УрО РАН. – Екатеринбург : УрО РАН, 2008. – 87 с. : ил. – Библиогр.: с. 82 – 86 ; 3 27 ; Ш96.

15. Известия НИИ постоянного тока : науч. сб. № 63 / Науч. – исслед. ин-т по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения. – СПб. : [б. и.], 2008. – 272 с. : ил. – Библиогр. в конце ст ; 3 279 ; И33.
16. DiStasio, J. Smart Customer Service in der Energiewirtschaft 2010 – Eindrücke aus dem U.S. – Amerikanischen und deutschen Markt/ J. DiStasio, A. Döhner// Energiewirtschaftliche Tagesfragen. -2010. –N.1-2. –P.20 - 25; ЭЭ-1.2.2
17. Feuchtmeier, J. Smart Metering in Europa: Herausforderung an die Standardisierung/ J. Feuchtmeier// Energiewirtschaftliche Tagesfragen. -2010. –N.1-2. –P.102-104; ЭЭ-4.1.7
18. Förster, H. Smart Meter: Der Erfolg kommt nicht von allein/ H. Förster// Energiewirtschaftliche Tagesfragen. -2010. –N.1-2. –P.105-107; ЭЭ-4.1.7
19. Großhans, S. Energie-Controlling-Systeme: Neue finanzielle Anreize für Kommunen/ S. Großhans// Energiewirtschaftliche Tagesfragen. -2010. –N.1-2. –P.120-121; ЭЭ-4.1.7
20. Haber, A. Smart Grids – Auswirkungen auf die Netzentgelte/ A. Haber, M. Bliem// Energiewirtschaftliche Tagesfragen. -2010. –N.1-2. –P.108-111; ЭЭ-6.4
21. Klimpke, H. Modular ins Smart Metering-Zeitalter/ H. Klimpke, G. Staß// Energiewirtschaftliche Tagesfragen. -2010. –N.1-2. –P.112-113; ЭЭ-4.1.7
22. Kundur P. Power system stability and control. McGraw-Hill Inc, 1994.
23. Corsi S. The Secondary Voltage Regulation in Italy. Panel Session on «Secondary Voltage Control» IEEE/PES 2000 Summer Meeting, July 16—20, Seattle, Washington.
24. Lefebvre H., Fragnier D., Boussion J.Y., Mallet P., Bulot M. Secondary coordinated voltage control system: feedback of EDF. Panel Session on «Secondary Voltage Control» IEEE/PES 2000 Summer Meeting, July 16—20, Seattle, Washington.