РЕЖИМНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДИСПЕТЧЕРА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕТРЕН — БАЗОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРОВ «РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

АВТОРЫ:

М.А. РАБИНОВИЧ, Д.Т.Н.,
Ю.И. МОРЖИН, Д.Т.Н.,
С.П. ПОТАПЕНКО, К.Т.Н.,
С.К. КАКОВСКИЙ,
«НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС»

В современной электроэнергетике задачи оперативного управления переключениями в сети и ее режимом серьезно усложнились, что создает колоссальную нагрузку на персонал. В результате возникла необходимость разработки нового поколения режимных тренажеров (РТ) и тренажеров оперативных переключений (ТОП). Появление таких тренажеров стало возможным благодаря тому, что в последние годы значительно расширились технические возможности построения РТ и ТОП, решения технологических и методологических задач обучения оперативного персонала, построения систем отображения информации (рост вычислительной мощности на несколько порядков, появление средств коллективного отображения информации и т. п.).

Ключевые слова: модель; электроэнергетическая система; частота; схема; автоматика; регулятор; отображение; режим.

Общий вид программного комплекса РЕТРЕН

ВВЕДЕНИЕ

Комплекс программ (КП) РЕТРЕН построен на базе системы конструкторов КАСКАД и динамической модели электроэнергетической системы (ЭЭС) реального времени (РВ). Он предназначен для проведения обучения и тренировок оперативного персонала энергообъектов системного оператора (СО) Единой электроэнергетической системы (ЕЭС) и энергообъектов ФСК ЕЭС.

Может использоваться широким кругом специалистов оперативно-диспетчерского управления ЭЭС и энергообъединений, служб режимов, релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА). Он может применяться для анализа режимов и проектирования энергообъектов.

В России для подготовки оперативного персонала используется ряд вычислительных комплексов (ФЕНИКС, ФИНИСТ, МОДУС и др.), которые нашли широкое применение. Они позволяют проводить обучение и тренировки оперативного персонала ЭЭС главным образом в режиме офлайн, а не в режиме РВ. В этих комплексах были предусмотрены многие необходимые технологические задачи (модель ЭЭС, коммутационная модель, человеко-машинный интерфейс и др.), однако ряд важных подсистем отсутствовал. Упомянутые комплексы разработали более 10 лет тому назад, когда вычислительные возможности компьютеров были весьма ограниченны, что привело к трудностям в создании интегрированных комплексов, объединяющих отдельные элементы в единую систему и функционирующих в режиме РВ.

Кроме того, появились задачи, для которых необходимо выполнять расчет установившегося (УР) и переходного (ПР) режимов в темпе процесса, т. е. в темпе РВ, а также в замедленном и даже в ускоренном темпах, например, задачи для ПА, топологического анализа, построения тренажерных комплексов, советчиков диспетчера и ряд других. Появились также мощные вычислительные комплексы, способные решать указанные задачи. Одним из таких комплексов является рассматриваемый тренажер.

КП РЕТРЕН — это интегрированный комплекс с полным набором необходимых технологических задач для обучения и тренировки оперативного персонала энергообъектов, системой его конструирования и поддержки полного жизненного цикла.

Конструирование и поддержка его выполняются средствами специально разработанного для целей построения информационных систем конструкторского комплекса КАСКАД. Этот комплекс позволяет формировать человеко-машинный интерфейс и выполнять другие задачи пользователя не посредством традиционного программирования (цепочка из технического задания, проектирования, программирования, тестирования и т. д.), а путем создания на экране дисплея экранных форм (таблиц, схем, панелей управления, сценариев и т. п.) и задания их элементам определенных характеристик и свойств. Эти свойства и дают возможность выполнять необходимые функции задачам, создаваемым таким образом.

Средства конструирования приложений позволяют организовать сопровождение и развитие создаваемого комплекса в процессе его нормального функционирования. Модификация РЕТРЕН в режимный тренажер может выполняться не только разработчиками, но и обслуживающим персоналом и даже продвинутыми пользователями, хорошо представляющими суть решаемых задач.

Наиболее важной подсистемой режимного тренажера является динамическая модель, которая отражает наиболее характерные фазы поведения ЭЭС в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах. Это невозможно без адекватного представления систем регулирования (частоты и напряжения), РЗ и ПА. Моделирование режима в рассматриваемом тренажере реализовано для традиционной однолинейной (однофазной) модели ЭЭС.

Моделирование динамики ЭЭС, систем регулирования, РЗ и ПА выполняется путем решения систем дифференциальных уравнений совместно с решением уравнений сети (как правило, нелинейных систем). Все эти задачи решаются в тренажере в режиме РВ, а также в замедленном и ускоренном режимах.

Напомним, что под моделированием в темпе РВ а мы понимаем способность модели формировать переходные электромеханические и длительные процессы в том же масштабе времени, что и реальные энергообъекты рассматриваемого класса. Необходимым условием модели РВ является возможность пользователя, систем автоматики и сценариев возмущений (или аварий) менять параметры узлов схемы и сети практически в любой момент времени в процессе расчета. Данный тренажер обладает такими возможностями. В то же время его можно использовать как традиционный вычислительный комплекс, что привычно для многих пользователей.

В рассматриваемом тренажере для определения узловых напряжений в темпе РВ решается система нелинейных уравнений в форме узловых потенциалов. Расчет режима ЭЭС позволяет получить комплексы напряжений в узлах сети. Расчет потокораспределения выполнен в предположении постоянства параметров сети на шаге интегрирования дифференциальных уравнений.

Ниже представлено краткое описание основных функциональных блоков КП РЕТРЕН.

МОДУЛЬ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Модуль состоит из комплекса программ, предназначенных для расчета и анализа УР и ПР ЭЭС. Исходной информацией для модуля являются расчетные схемы в формате ЦДУ, PSS/E, CIM (13), Astra и др. Работа модуля происходит в темпе РВ, а также в ускоренном и замедленном режимах. Для расчета, анализа режима и топологии сети формируется коммутационная схема всего или части энергообъединения. Управление режимом и топологией сети производится непосредственно по схемам ЭЭС и подробным схемам подстанций. КП РЕТРЕН содержит средства формирования расчетных и графических схем, системы управления в реальном масштабе времени, предназначен для моделирования сложных электрических сетей большой размерности. Пример экранной формы при отображении результатов расчета этого модуля РЕТРЕН представлен на рис. 1.

КП РЕТРЕН позволяет выполнять:

- расчет УР электрических сетей большой размерности всех классов напряжения;
- расчет ПР с учетом электромеханических и длительных процессов в оборудовании станций;
- расчет режимов с учетом динамики ТЭС и ГЭС;
- расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, фазы, частоты узлов, а также токи, потоки мощности и потери активной и реактивной мощностей в ветвях сети);
- интерактивный режим управления моделированием в темпе РВ;
- расчет УР и ПР с учетом частоты;
- моделирование короткого замыкания, а также изолированного режима работы частей ЭЭС;
- моделирование синхронизации частей ЭЭС, автоматизированное формирование схем (оперативных, структурных, подробных);
- автоматическое формирование расчетных графических схем;
- контроль режимной информации на допустимые значения;
- автоматическую реконфигурацию расчетных схем;
- оптимизацию электрических сетей по уровням напряжения и реактивной мощности;
- ввод режима в допустимую область;
- оптимизацию и расчет потерь по районам и классам напряжений;
- определение предельных по мощности сечений;
- определение предельных по току ЛЭП;
- отключение ЛЭП в процессе моделирования (в том числе одностороннее);
- неограниченное во времени моделирование переходных режимов;
- моделирование случайных колебаний нагрузки в узлах сети;
- статистический анализ параметров режима;
- управление режимом со схемы энергообъекта в темпе РВ;
- управление топологией сети и состоянием коммутационных аппаратов в темпе РВ;
- моделирование режима в ускоренном, замедленном и реальном времени;

ОТОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА КП РЕТРЕН В ГРАФИЧЕСКОЙ ФОРМЕ

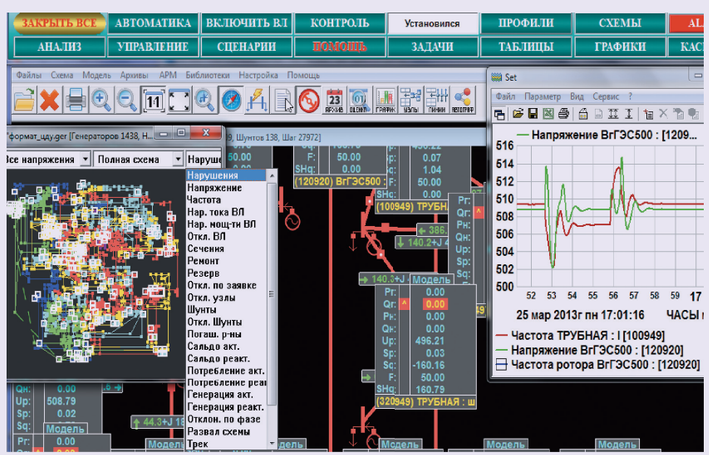


Рис. 1

- управление оборудованием (реакторы, компенсаторы, энергоблоки и др.) в РВ;
- моделирование систем ПА;
- моделирование вторичного регулирования (АРЧМ, АЧР, АОП и т. д.);
- управление режимом и топологией по коммутационным схемам станций и подстанций;
- задание сценариев автоматик по расчетным и коммутационным схемам;
- задание параметров динамики энергоблоков и двигательной нагрузки;
- сравнение расчетных режимов с расчетами в КП РАСТР, «Космос» и «Мустанг»;
- учет при моделировании параметров короны ЛЭП;
- подключение сторонних расчетных КП (РАСТР и др.);
- управление режимом по графическим схемам подстанций;
- отображение переходных процессов на графиках и в таблицах;
- моделирование электромеханических переходных процессов с учетом действия ПА в темпе РВ;
- расчет токовой загрузки ЛЭП и трансформаторов с учетом зависимости допустимого тока от температуры;
- оценку коэффициентов влияния небалансов мощности на перетоки;
- оценку коэффициентов крутизны частотной характеристики энергоблоков;

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ФРАГМЕНТА СЕТИ

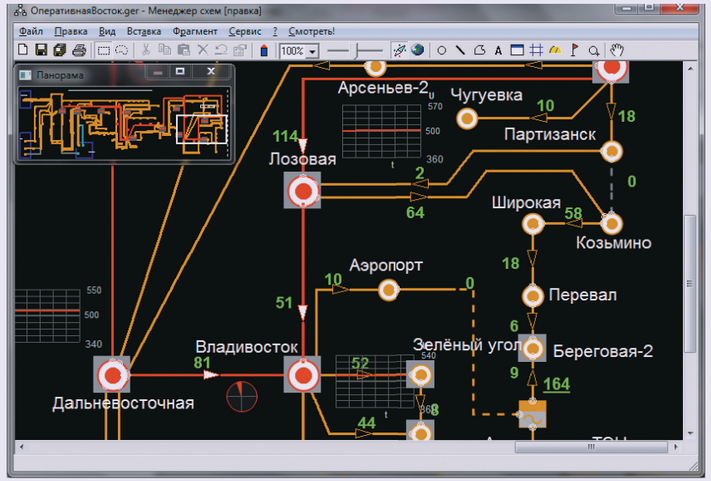


Рис. 2

- моделирование отказов оборудования и ПА;
- сравнение различных режимов по заданному списку парамет-ров;
- задание сценариев ПА, в том числе по схемам энергообъектов;
- создание библиотеки режимов;
- анализ аварий в основной сети;
- загрузку режима в модель из формата ЦДУ;
- загрузку режима в модель из задачи оценки состояния;
- топологический анализ коммутационных схем;
- анализ заявок на вывод в ремонт и ввод в работу оборудования;
- формирование ремонтных схем;
- моделирование электромеханических переходных процессов с учетом действия систем регулирования и ПА;
- расчет параметров послеаварийного режима;
- контроль режима по критерию N–1.

В составе модуля «Расчет режима» представлены следующие основные компоненты.

Программа расчета УР и ПР. Расчет УР выполняется методами Ньютона, Гаусса или Зейделя. Возможен расчет УР как предельного значения ПР любым из упомянутых методов и по уравнениям динамики. Используется в задачах оценки состояния, оптимизации и анализа режима и ряде других. Отображение результатов расчета производится в табличной и графической формах (рис. 1).

ФРАГМЕНТ ПОДРОБНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ

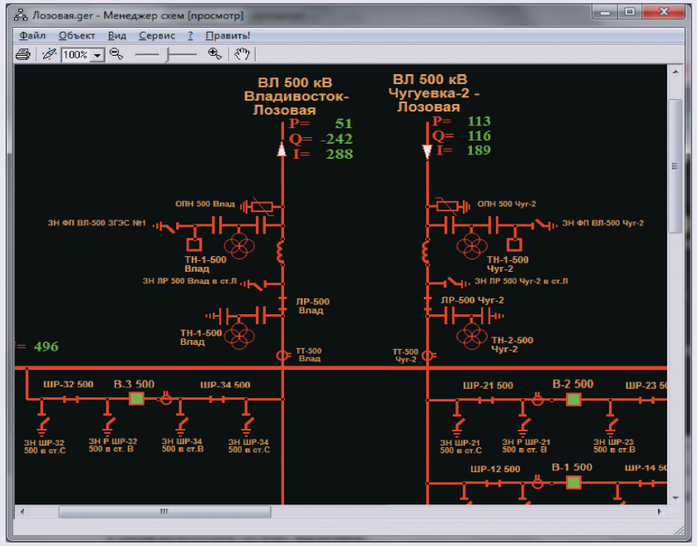


Рис. 3

Данный тренажер может решать традиционные задачи расчета УР и ПР. В нем моделируются электромеханические и длительные переходные процессы в турбинах-генераторах, котло- и гидроагрегатах, формируется коммутационная схема всего или части энергообъединения, выполняется управление режимом ЭЭС сценариями и пользователем коммутационными аппаратами ПА. Технологические возможности тренажера решают задачи повышения режимной надежности.

Модель для расчета электромеханических и длительных переходных процессов ТЭС состоит из совокупности моделей основных ее элементов — турбин, генераторов, котельной автоматики, электрической сети, узлов нагрузки. В модели адекватно представлены характерные особенности ГЭС (гидроудар, изодромный регулятор частоты). Расчеты выполняются с учетом частоты в ЭЭС и отдельных узлах системы. Производится моделирование электромеханических и длительных переходных процессов в котло-агрегатах и гидроагрегатах. Моделируются системы вторичного регулирования (АРЧМ, АЧР, АОП и др.), ПА и РЗ. Выполняется статис-тический анализ параметров режима при случайных колебаниях нагрузки в узлах сети. Электромеханические и длительные переходные режимы могут отображаться на графиках, схемах и других экранных формах. Эти возможности комплекса позволяют моделировать ПА типа АЛАР (АПАХ) на произвольное количество изолированных островов (в каждом из них необходимо наличие хотя бы одного узла с генерацией).

В тренажере возможно отображение сетей всех уровней с профилем напряжения на фоне карты местности (в том числе в динамическом режиме), графическое отображение профиля напряжений в процессе моделирования короткого замыкания и несинхронного режима.

Программа расчета систем регулирования, ПА и РЗ. В КП РЕТРЕН создано несколько систем регулирования и ПА. К этим системам относятся АЧР, АРЧМ, АЛАР, САОН, АПЧ и др., которые шаблонно функционируют в ЭЭС. Нестандартные системы регулирования и ПА создаются средствами сценариев, которые формируются непосредственно по схемам энергообъектов. Каждая система регулирования и ПА имеет общий выключатель и отдельные выключатели на все оборудование.

Средствами сценариев формируются модели аварийных режимов, тренировки и т. п. Сценарии аварийных режимов и тренировок можно формировать с учетом систем регулирования и ПА и при их отсутствии.

Режим РВ. Моделирование динамики ЭЭС в РВ необходимо, например, в тренажерных комплексах, системах анализа режима и др. В отдельных случаях моделирование необходимо выполнять в ускоренном масштабе времени (например, в системах ПА и советчиках диспетчера). Под режимом РВ понимается способность модели ЭЭС формировать переходные процессы с той же скоростью, с которой они протекают и в реальных ЭЭС. За счет этого обеспечивается возможность коррекции топологии сети и режима (пользователем, ПА и сценариями) в произвольный момент времени практически без задержки.

КОММУТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ

В тренажерном комплексе на основе РЕТРЕН сформирована полная коммутационная схема моделируемой ЭЭС или энергообъединения, информационно связанная с режимной расчетной схемой. Управление топологией и режимом выполняется по расчетной, оперативной или подробной схемам подстанций.

ПАНЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМИЗАЦИИ

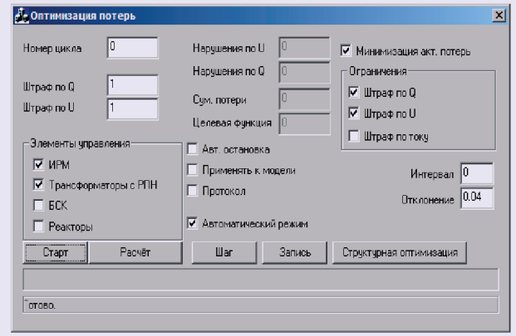


Рис. 4

РЕЗУЛЬТАТ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ

Рис. 5

Коммутационная модель представляет собой граф электрической сети. Часть оборудования сосредоточена в узлах (шины, генераторы, заземлители и т. п.), другая часть является ветвями графа (ЛЭП, выключатели, разъединители и т. п.).

Программная часть представлена в виде динамической библиотеки (Topology.dll). Ее центральной функцией является поиск соседей, удовлетворяющих некоторым условиям, ограниченный указываемой областью. Исходной информацией для модуля Topology является:

- структурная схема сети (рис. 2);
- схемы первичных коммутаций подстанций и станций (подробное представление оборудования объекта) (рис. 3);
- схемы районов распределительной сети (низковольтные распределительные устройства, соединенные с различными станциями и подстанциями).

Схемы могут строиться в программе графического редактора, причем особое внимание уделяется правильному контактированию оборудования между собой. Для схем, выполненных в редакторе ГРАФ-НТ, Topology.dll предоставляет дополнительные функции формирования коммутационной модели. Внешние модули могут создавать топологию сети из различных источников информации (например, из базы CIM).

При загрузке из графического редактора составляется таблица соответствия графических типов топологическим. Каждый экземпляр конкретного типа оборудования имеет уникальный идентификатор и набор характерных параметров (например, выключатель имеет параметр включен/отключен, шина — признак наличия напряжения и т. д.).

Модуль предоставляет способы анализа текущей топологической ситуации.

На базе данного модуля решается ряд технологических задач:

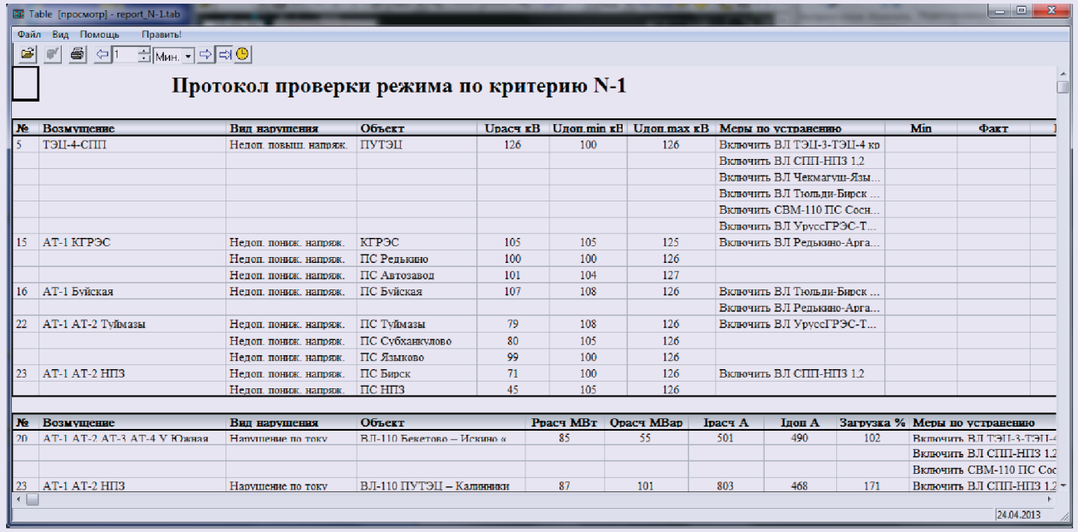
- организация ПА, режимной автоматики и РЗ;
- блокировка оперативных переключений;
- построение текущей расчетной схемы;
- определение погашенных регионов;
- контроль нарушений на воздушной линии электропередачи;
- контроль нарушений параметров режима в узлах сети;
- контроль синхронизма.

МОДУЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ПО U–Q (МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ, ВВОД РЕЖИМА В ДОПУСТИМУЮ ОБЛАСТЬ)

Задача модуля состоит в минимизации целевой функции с заданными критериями с целью минимизации потерь и ввода режима в допустимую область.

Среди критериев минимизации можно выделить:

ТАБЛИЦА АНАЛИЗА РЕЖИМА ПО КРИТЕРИЮ N–1



Протокол проверки режима по критерию N-1

№	Возмущение	Вид нарушения	Объект	Uрасч кВ	Uдоп.min кВ	Uдоп.max кВ	Меры по устранению	Min	Факт
5	ТЭЦ-4-СПП	Недоп. повыш. напряж.	ПУТЭЦ	126	100	126	Включить ВЛ ТЭЦ-3-ТЭЦ-4 кр		
							Включить ВЛ СПП-НПЗ 1,2		
							Включить ВЛ Чекмагуш-Язы...		
							Включить ВЛ Тюльди-Бирск ...		
							Включить СВМ-110 ПС Сосн...		
							Включить ВЛ УруссГРЭС-Т...		
15	АТ-1 КГРЭС	Недоп. поник. напряж.	КГРЭС	105	105	125	Включить ВЛ Редькино-Арга...		
		Недоп. поник. напряж.	ПС Редькино	100	100	126			
		Недоп. поник. напряж.	ПС Автозавод	101	104	127			
16	АТ-1 Буйская	Недоп. поник. напряж.	ПС Буйская	107	108	126	Включить ВЛ Тюльди-Бирск ...		
							Включить ВЛ Редькино-Арга...		
22	АТ-1 АТ-2 Туймазы	Недоп. поник. напряж.	ПС Туймазы	79	108	126	Включить ВЛ УруссГРЭС-Т...		
		Недоп. поник. напряж.	ПС Субханкулово	80	105	126			
		Недоп. поник. напряж.	ПС Языково	99	100	126			
23	АТ-1 АТ-2 НПЗ	Недоп. поник. напряж.	ПС Бирск	71	100	126	Включить ВЛ СПП-НПЗ 1,2		
		Недоп. поник. напряж.	ПС НПЗ	45	105	126			

№	Возмущение	Вид нарушения	Объект	Pрасч МВт	Qрасч МВар	Iрасч А	Iдоп А	Загрузка %	Меры по устранению
20	АТ-1 АТ-2 АТ-3 АТ-4 Y Южная	Нарушение по току	ВЛ-110 Бекетово – Искино «	85	55	501	490	102	Включить ВЛ ТЭЦ-3-ТЭЦ-4
									Включить ВЛ СПП-НПЗ 1,2
									Включить СВМ-110 ПС Сос
23	АТ-1 АТ-2 НПЗ	Нарушение по току	ВЛ-110 ПУТЭЦ – Калиновки	87	101	803	468	171	Включить ВЛ СПП-НПЗ 1,2

24.04.2013

Рис. 6

– минимизацию потерь активной мощности всей сети (или указанного региона);

– ввод режимных параметров в допустимую область (напряжение, реактивная генерация).

Модуль может использоваться и для решения других оптимизационных задач, например, для ограничения токов и перетоков активной мощности линий электропередачи и сечений.

Оптимизация производится модифицированным методом градиентного спуска с учетом штрафных функций. Интенсивность учета штрафных функций задается в рамках поставленной задачи.

Модуль может функционировать как в автоматизированном режиме, выполняя выдачу диспетчеру советов по оптимизации режима, так и в системе автоматического управления (с непосредственной выдачей управляющих воздействий на оборудование).

Исходной информацией модуля служат расчетные схемы и список управляемых элементов. Возможна работа модуля в контуре с оценкой состояния энергосистемы. Модуль использует расчет УР с возможностью отработки выдаваемых советов на динамической модели энергосистемы.

Управляемые элементы можно разделить на два класса: непрерывные и дискретные. К непрерывным элементам относятся синхронные компенсаторы, генераторы, статические тиристорные компенсаторы, СТАТКОМы, управляемые шунтирующие реакторы. К дискретным элементам относятся реакторы, батареи статических конденсаторов, трансформаторы с регулированием под нагрузкой. Возможно выполнение учета по оптимизации как типов управляющих элементов, так и конкретных элементов расчетной схемы (рис. 4).

Результаты работы программы выдаются в табличном и графическом видах (рис. 5).

МОДУЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РЕЖИМА

Оценка надежности ЭЭС определяется визуально по нескольким критериям, отображение которых выполняется на панораме расчетной схемы. Все упомянутые ниже виды нарушений и ряд других представлены на панораме специальными символами (например, кольцами разного цвета вокруг узлов). Степень нарушений определяется цветом спецсимволов.

В модуль «Надежность» входит ряд технологических задач:

Оценка надежности по критерию N–k. В рамках решения этой задачи в масштабе РВ дается оценка безопасности режима. Под критерием N–k в широком смысле понимается проверка существования и допустимости режима для набора аварийных ситуаций (отключение ЛЭП и энергообъектов, короткие замыкания, срабатывание систем ПА и др.) Аварийные ситуации задаются набором сценариев для текущего и прогнозного режимов. В настоящее время реализован режим N–1.

Для проверки способов восстановления нарушенного режима ЭЭС задаются восстановительные сценарии. На основе результатов отработки этих сценариев в табличной форме формируются возможные действия оперативного персонала по устранению нарушений.

Результаты оценки надежности по критерию N–1 отображаются в таблице (рис. 6), где представлены сценарии, приводящие к нарушению контролируемых предельных значений, значения параметров с нарушениями и меры по их устранению.

Сценарии проверки могут быть сгруппированы по типам (например, отключения только параллельных ЛЭП и т. п.). Прохождение проверки можно наблюдать на схемах, таблицах и графиках.

Контроль загрузки сечений по активной мощности. Контроль загрузки осуществляется по заданному набору сечений ЭЭС. Контролируются переток активной мощности и состав сечения. Максимальные и аварийно допустимые пределы выбираются как для нормального режима функционирования энергосистемы, так и для ремонтных схем. Оценивается запас по пропускной способности сечения. В состав контролируемых сечений обычно включают системообразующие ЛЭП. Степень близости загрузки сечений по активной мощности к предельным значениям является основной характеристикой устойчивости всей схемы в целом и ее частей.

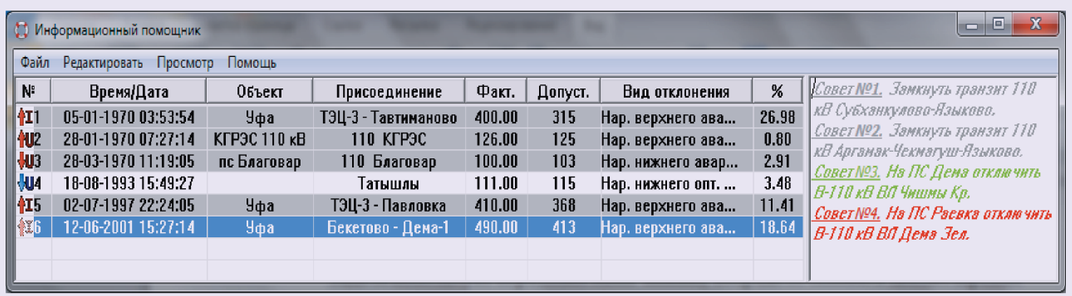
Исходная информация для задачи формируется задачей оценки состояния с использованием актуальной нормативно-справочной информации о состоянии и параметрах сети.

Состав сечений оперативно корректируется в соответствии с актуальной расчетной схемой. Результаты контроля загрузки сечений выводятся на графических схемах и в табличном представлении, которые могут быть распечатаны в виде твердых копий. При достижении пределов осуществляется звуковая и визуальная сигнализации.

Контроль напряжений. Выполняется мониторинг нахождения напряжения в длительно допустимых пределах в контрольных точках сети. Отображение выполняется на графических схемах и в табличной форме. Задача решается циклически с заданным периодом времени. Модуль сигнализирует (звуковая и визуальная сигнализации) о выходе напряжения за пределы и учитывает время нарушения пределов. Формируется архив данных о нарушениях предельных значений напряжений. Рассчитывается коэффициент запаса по напряжению. Нарушение параметров режима на схеме обозначены изменением их цвета (желтый цвет — предупредительный предел и красный цвет — аварийный предел).

Контроль ЛЭП по току. Выполняется мониторинг нахождения тока ЛЭП в допустимых пределах в контролируемых линиях сети. Обычно это линии напряжением 110 кВ и ниже. Отображение выполняется на графических схемах и в табличной форме. Модуль сигнализирует (звуковая и визуальная сигнализации) о выходе тока за пределы нормы.

ЭКРАННАЯ ФОРМА СОВЕТЧИКА ПО ДИСПЕТЧЕРСКИМ ИНСТРУКЦИЯМ



Информационный помощник

Файл Редактировать Просмотр Помощь

№	Время/Дата	Объект	Присоединение	Факт.	Допуст.	Вид отклонения	%
I1	05-01-1970 03:53:54	Уфа	ТЭЦ-3 - Тавтиманово	400.00	315	Нар. верхнего ава...	26.98
U2	28-01-1970 07:27:14	КГРЭС 110 кВ	110 КГРЭС	126.00	125	Нар. верхнего ава...	0.80
U3	28-03-1970 11:19:05	пс Благовар	110 Благовар	100.00	103	Нар. нижнего авар...	2.91
U4	18-08-1993 15:49:27		Татышлы	111.00	115	Нар. нижнего опт. ...	3.48
I5	02-07-1997 22:24:05	Уфа	ТЭЦ-3 - Павловка	410.00	368	Нар. верхнего ава...	11.41
I6	12-06-2001 15:27:14	Уфа	Бекетово - Дема-1	490.00	413	Нар. верхнего ава...	18.64

Совет №1. Замкнуть транзит 110 кВ Субханкулово-Языково.
Совет №2. Замкнуть транзит 110 кВ Арганак-Чекмагуш-Языково.
Совет №3. На ПС Дема отключить В-110 кВ ВЛ Чишмы Кр.
Совет №4. На ПС Раевка отключить В-110 кВ ВЛ Дема Зел.

Рис. 7

Визуальная индикация нарушений обозначена изменением цвета параметров (см. выше).

Оцениваются плотность тока и значение оптимальности по плотности.

Контроль отпуска мощности и электроэнергии. Контроль отпуска электроэнергии на базе получасовых замеров (или замеров другой дискретности — сутки, недели, годы по желанию заказчика) с ведением архивов. Данная система позволяет оперативно выявлять отклонения отпуска мощности и электроэнергии от плановых графиков соответственно с принятием необходимых мер по их успешному устранению. Также возможна оперативная корректировка плановых графиков в связи с изменением режима и схемы работы энергетической системы как в целом, так и ее отдельных частей.

Оценка пропускной способности сечений и мониторинг статической устойчивости. В рамках решения данной задачи определяются предельные по статической устойчивости перетоки активной мощности, а также токи сечений и связей. Поиск предельного значения (с точки зрения статической устойчивости режимной модели) производится по заранее заданным траекториям утяжеления. Применяется для текущего режима энергосистемы (после задачи оценивания состояния режима). Рассчитывается коэффициент запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности в сечении. Отображение значений перетоков по сечениям и отдельным связям реализовано на схемах в абсолютных и относительных единицах в таблицах и цифровых аналогах приборов.

МОДУЛЬ «СОВЕТЧИК ПО ДИСПЕТЧЕРСКИМ ИНСТРУКЦИЯМ»

Этот модуль использует огромный запас знаний, сосредоточенный в диспетчерских инструкциях. В нем объединены данные о всех возможных нарушениях режима нормальной работы энергосистемы и применяемые в этих случаях диспетчерские инструкции.

Модуль использует информацию оперативно-информационных комплексов после решения задачи оценки состояния. Цикл такой обработки в режиме РВ для задания исходного режима ЭЭС составляет 1 мин.

Для каждого аварийного нарушения режима формируется полный набор возможных рекомендаций из диспетчерских инструкций. Далее в автоматическом режиме выбирается такой набор рекомендаций для указанного диспетчером нарушения режима, который проверяется на реализуемость и эффективность путем моделирования совета на динамической модели в текущем режиме (после оценки состояния режима). Блокируются те рекомендации инструкций, которые не могут быть реализованы в текущий момент (например, те, которые были выполнены ранее). Пример экранной формы советчика по диспетчерским инструкциям приведен на рис. 7.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА С ПАНОРАМОЙ СЕТИ

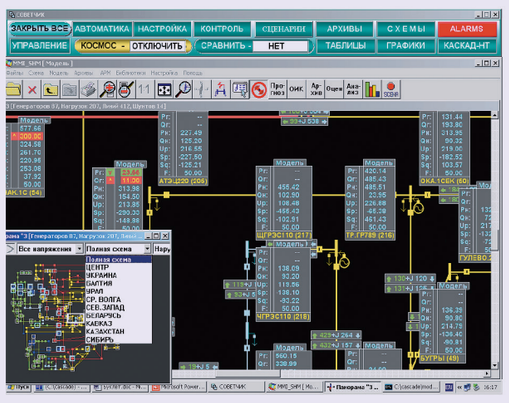


Рис. 8

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УЗЛА ТЭС

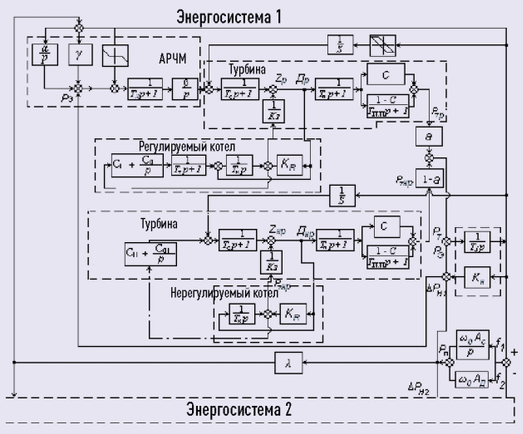


Рис. 9

ОТОБРАЖЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

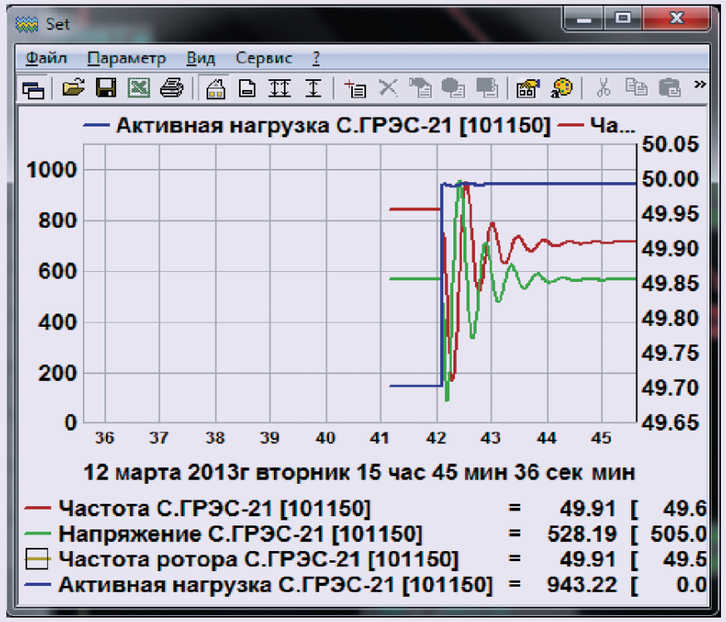


Рис. 10

При отображении результатов анализа используется цветовая индикация нарушений. Красным цветом помечаются действия инструкции, которые, согласно модели, не приводят к устранению выбранного нарушения. Зеленым цветом помечены действия, приводящие к успеху.

РЕЖИМНЫЙ ТРЕНАЖЕР С КОНТРОЛЕМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

В состав режимного тренажера входит ряд технологических и сервисных программ для его создания, средств отображения информации, проведения тренировок и поддержки в течение всего жизненного цикла. Основной технологической программой служит КП РЕТРЕН. На базе этого комплекса создан тренажер диспетчера сетевой компании (уровня МЭС, ПМЭС) с контролем переключений, который может использоваться и для подразделений СО ЕЭС (ОДУ, РДУ). Данный тренажер служит для отработки знаний и навыков оперативно-диспетчерского персонала подстанций по производству плановых и послеаварийных оперативных переключений. Он позволяет проводить тренировки с автоматическим контролем команд по правилам технологии переключений и предварительно введенным бланкам переключений.

Тренажер включает программу топологического анализа коммутационной схемы энергообъектов всех уровней, что позволяет проводить контроль правильности выполнения коммутаций в сети согласно диспетчерским инструкциям. Проверка правильности переключений состоит в контроле их очередности, топологической непротиворечивости и безопасности.

СИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНАЖЕРОМ

Эта система включает систему отображения результатов расчета в виде оперативной и иной информации из стандартных баз данных (ORACLE, MS SQL и т. д.) и ряда баз данных РВ отечественных оперативно-информационных комплексов на индивидуальных (дисплеях) и коллективных (видеостенах) средствах.

Система отображения тренажера совмещена с системой управления. Здесь пользователь имеет возможность вручную управлять режимом и топологией сети, а также применять системы сценариев для управления узлами и ветвями сети и группового управления отдельными регионами или их группами.

Управление расчетной схемой может выполняться как непосредственно по ее графическому образу, так и коммутационными аппаратами по схемам подстанций.

Основное управление тренировкой выполняется средствами сценариев, в которых имитируются характерные режимные состояния энергообъекта.

Таким образом, КП РЕТРЕН содержит сервисные средства формирования расчетных и графических

ИЗ ПРАВИЛ ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕНИРОВОК ПЕРСОНАЛА ОАО «ФСК ЕЭС». СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ. ДАТА ВВЕДЕНИЯ 28.11.2014. СТО 56947007-29.240.01.193–2014

4.1. Контрольные и учебные противоаварийные и противопожарные тренировки персонала являются одной из обязательных форм работы с оперативным персоналом, а также с АТП и АТП ОП ПАО «ФСК ЕЭС». Контрольные ситуационные и противопожарные тренировки являются одной из обязательных форм работы с оперативными дежурными ПАО «ФСК ЕЭС». Для ремонтного персонала ПС и персонала, обслуживающего ЛЭП, обязательной формой работы с персоналом являются аварийно-восстановительные и контрольные противопожарные тренировки...

5.1.1. Противоаварийные тренировки, проводимые с оперативным персоналом ПАО «ФСК ЕЭС», следует подразделять на контрольные и учебные. При организации и проведении учебных тренировок следует учитывать:

– учебные тренировки должны проводиться со всем оперативным персоналом ПАО «ФСК ЕЭС» (оперативный персонал ПС и оперативный персонал ЦУС, ГЦУС, ДОТУ ПАО «ФСК ЕЭС»), а также с АТП ОП;

– при наличии тренажерных комплексов учебные тренировки рекомендуется проводить с их использованием. Для оперативного персонала ДОТУ ПАО «ФСК ЕЭС» и ГЦУС МЭС проведение учебных тренировок должно быть организовано с использованием тренажерных комплексов в тренажерных классах ЦПП ПАО «ФСК ЕЭС» и ЦПП МЭС соответственно.

схем, системы управления расчетом в РВ и статистического анализа параметров режима при случайных колебаниях нагрузки в узлах сети. Комплекс дополнен средствами формирования сценариев тренировок, ПА, развития аварий и т. п.

На рис. 8 приведен фрагмент расчетной схемы с таблицами режимной информации, а на рис. 9 — структурная схема узла ТЭС, используемая в расчетах электромеханических и длительных переходных процессов.

Отличительной особенностью данного тренажера является его способность неограниченного по времени процесса моделирования переходных процессов без накопления ошибки моделирования. Пример переходного процесса параметров режима дан на рис. 10.

Перечисленные выше возможности комплекса позволяют формировать сценарии тренировок и проводить по ним тренировочные занятия в центрах и пунктах тренажерной подготовки оперативного персонала ЭЭС и сетевых компаний.

Система отображения тренажера совместно с комплексом анализа параметров режима позволяет проводить глубокий анализ причин возникновения аварий и находить оптимальные пути устранения.

ВНЕДРЕНИЕ КП РЕТРЕН

На рис. 11 представлен фрагмент распределительных сетей на видеостене и рабочем месте инструктора тренажерного комплекса РЕТРЕН-ФСК, установленного в ПМЭС Сочи.

Комплекс КАСКАД-РЕТРЕН с 2011 по 2013 г. внедрен во всех восьми МЭС (филиалах «Россети ФСК ЕЭС»), в исполнительном аппарате «Россети ФСК ЕЭС», Сочинском ПМЭС и распределительных сетях МРСК «Кубаньэнерго». В 2013 г. выполнено внедрение в опытную эксплуатацию комплекса минимизации потерь в сети МЭС Юга. Работы по его модернизации и сопровождению на энергопредприятиях и в сетевых компаниях России продолжаются уже более 10 лет.

Комплекс написан на языке C++ на базе системы конструкторов КАСКАД-НТ 2.0 и позволяет самостоятельно его развивать и сопровождать. На базе представленного выше тренажера в «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» в настоящее время создается тренажер нового поколения, который позволит:

- поднять уровень сложности и многоплановость тренировок оперативного персонала;
- обеспечить возможность проведения удаленных тренировок персоналу филиалов «Россети ФСК ЕЭС»;
- автоматизировать процесс оценки успешности проведенной тренировки;
- осуществлять другие важные функции.

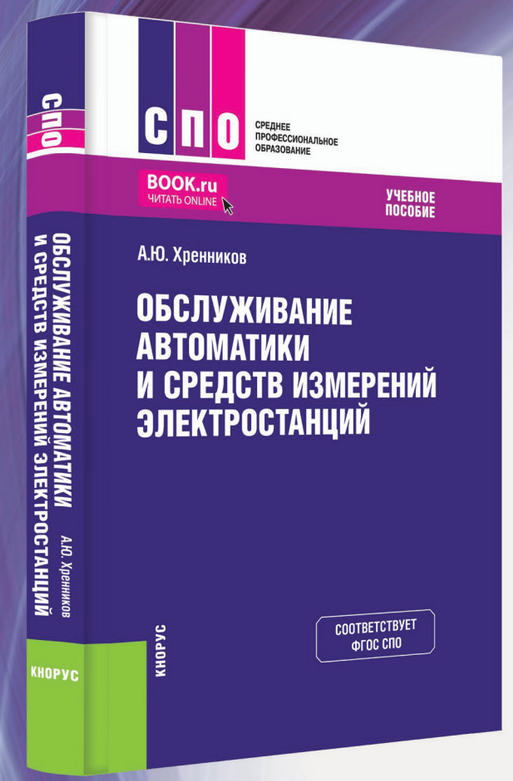
ЛИТЕРАТУРА

1. Орнов В.Г., Рабинович М.А. Задачи оперативного и автоматического управления энергосистемами. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Дьяков А.Ф., Моржин Ю.И., Рабинович М.А. Режимный тренажер КАСКАД для диспетчера энергосистем и энергообъединений. М.: Изд-во МЭИ, 1996.
3. Рабинович М.А. Цифровая обработка информации для задач оперативного управления в электроэнергетике. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.
4. Каковский С.К., Потапенко С.П., Рабинович М.А. Вопросы импортозамещения программного обеспечения в задачах электроэнергетики // Энергия единой сети. 2015. № 4 (21). С. 42–56.

реклама

ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМАТИКИ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

АЛЕКСАНДР ХРЕННИКОВ



Учебное пособие предназначено для учащихся колледжей по специальностям 13.01.05 «Электромонтер по техническому обслуживанию электростанций и сетей» и 13.01.10 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования» (по отраслям).

В рамках 1-й главы рассмотрены вопросы опасности поражения человека электрическим током, Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (действуют с 2021 г.): электробезопасность, причины травматизма, шаговое напряжение, классификация производственных помещений по степени опасности, освобождение пострадавшего и первая помощь при поражение электрическим током, защитное заземление, зануление, защитное отключение, нарядно-допускная система при работе в электроустановках, электрозащитные средства, плакаты и знаки электробезопасности.

В главе 2 представлен учебный материал по электроизмерительным приборам и электрическим измерениям: характеристики средств измерений и погрешности, принцип действия приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, ферродинамической и электростатической систем, электронные счетчики электрической энергии, цифровые измерительные приборы, мультиметры, самопишущие приборы, контрольно-измерительные приборы и автоматика (КИПиА).

В главе 3 изложены вопросы организации и производства работ при выполнении работ в действующих устройствах РЗА, в цепях вторичной коммутации. Рассмотрены виды и периодичность технического обслуживания (ТО) РЗА И ПА, программы работ, подготовка к проведению работ, подготовка рабочего места (организационные мероприятия), технические мероприятия при проведении работ в устройствах РЗА, большое внимание уделено проверке устройств первичным током и напряжением, снятию векторных диаграмм, объемам испытаний при различных видах ТО, нарушениям, связанным с отказом или неправильной работой УРЗА.

Глава 4 посвящена вопросам технического обслуживания оборудования подстанций напряжением 35–750 кВ: производство и распределение электроэнергии, схемы электроснабжения, схемы распределительных устройств (РУ) электростанций и подстанций, высоковольтное электрооборудование, техника высоких напряжений и испытания электрооборудования, производство оперативных переключений, эксплуатация и ремонт электрооборудования РУ, силовых трансформаторов, синхронных генераторов, предохранители, автоматические выключатели, контакторы и магнитные пускатели.