Веб-сервис анализа и расчета режимов для автоматиеской системы управления активно-адаптивной сетью

А.В. Солдатов[1], В.А. Наумов[1,2], Н.С. Сергеев[1], Н.Ю. Марков[1,2]
[1]ООО НПП «ЭКРА», [2]ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
Чебоксары, Россия
E-mail: markov_ny@ekra.ru

Аннотация

Состояние вопроса: Для реализации концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью необходимо развитие автоматических систем управления режимами электроэнергетической системы. Базовым компонентом такой системы является система анализа и расчета, которая должна быть реализована с использованием современных информационных технологий и интегрирована в географически распределенную вычислительную инфраструктуру, объединяющую разнородные ресурсы и реализующую возможность коллективного доступа к этим ресурсам.

Материалы и методы: Математический аппарат системы анализа и расчета электрической сети (АРЭС) основан на решении системы линейных алгебраических уравнений, сформированных методом узловых потенциалов в фазных координатах. Интеграция в географически распределенную вычислительную инфраструктуру обеспечивается посредством GRID-технологий.

Результаты: Реализован веб-сервис АРЭС, предназначенный для решения аналитических и расчетных задач электроэнергетики, получаемых от территориально удаленных авторизованных приложений по протоколу HTTP. Для безопасной работы с удаленными приложениями предусмотрена возможность шифрования данных в соответствии с протоколом SSL. Данные АРЭС представляются в соответствии со стандартом IEC 61968/61970, что предусматривает перспективу применения веб-сервиса в российской, а в последствии и в мировой электроэнергетической системе. АРЭС позволяет решать следующие прикладные задачи электроэнергетики: расчет эквивалентных параметров ЭС, задачи расчета и анализа режимов работы ЭС, а также задачи оптимизации работы ЭС.

Выводы: Разработанный веб-сервис АРЭС может быть использован при реализации концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью, а также как компонент системы управления распределительными сетями DMS.

Ключевые слова: интеллектуальная энергосистема с активно-адаптивной сетью; GRID-технологии; CIM; расчет и анализ режимов.

Web-service for analysis and calculation modes for automatic control system of smart grids

A.V.Soldatov[1], V.A. Naumov[1, 2], N.S. Sergeev[1], N.Y.Markov[1,2]
[1]EKRA, Research-and Production Enterprise, Ltd., [2]The Chuvash State University named after I.N. Ulyanov
Cheboksary, Russia
E-mail: markov_ny@ekra.ru

Abstract

Background: Development of automatic control system of operation power systems mode is necessary to implement the smart grid concept. Analysis and calculate modes is the basis component of this system. It is should be implemented using modern information technologies and integrated into a geographically distributed computing infrastructure heterogeneous resources and realizes the possibility of collective access to these resources.

Materials and Methods: The mathematical apparatus of the system for analysis and calculation of the electric grid (ARES) is based on solving a system of linear algebraic equations formed by the method of nodal potentials in phase coordinates. Integration into geographically distributed computing infrastructure provided by means of GRID-technologies.

Results: The ARES web-service was implemented to solve the analytical and design tasks of the electric power industry, received from territorially remote authorized applications with the HTTP protocol. SSL protocol is used to encrypt data safely work with remote applications. The data of ARES are used in accordance with the IEC 61968/61970 standard, which it provides the prospect of using the web service in Russia and later in the world electric power system. ARRES allows solving the following applied tasks of electric power industry: calculation of

equivalent parameters of electric system, calculation and analysis of electric system operation modes, and electric system operation optimization.

Conclusions: The developed ARES web service can be used to implement the intellectual power system concept power system with an active-adaptive network, and as part of an ADMS.

Key-words: smart grid; GRID-technologies; CIM; calculation and analysis modes.

I. Введение

Интеллектуальная электроэнергетическая система с активной адаптивной сетью (ИЭС ААС) представляет собой электроэнергетическую систему нового поколения для управления функционированием и развитием системы электроснабжения на основе современных технологических средств и единой интеллектуальной иерархической системы управления.

Для реализации концепции ИЭС ААС необходимо развитие автоматических систем управления режимами электроэнергетической системы. Базовым компонентом таких систем является система анализа и расчета режимов, которая должна быть интегрирована в географически распределенную вычислительную инфраструктуру, объединяющую разнородные ресурсы и реализующую возможность коллективного доступа к этим ресурсам.

II. Система анализа и расчета режимов

Система анализа и расчета электрической сети (АРЭС) построена на основе GRID-технологий и предназначена для применения в программных комплексах с сервис-ориентированной архитектурой. Система АРЭС предоставляет авторизированным приложениям услуги по решению аналитических и расчетных задач электроэнергетики:

A. Расчет параметров сети

Обеспечивает расчет в реальном времени неизвестных токов в ветвях, напряжений в узлах и перетоков мощности в электрической сети, указанной конфигурации.

B. Поиск плохих данных

Используется для выявления ошибочных данных телеметрии и ложной информации о положении коммутационных аппаратов путем анализа информации о текущей конфигурации и измеренных и расчетных параметрах электрической сети.

C. Анализ потерь электроэнергии

Применяется для определения активных и реактивных потерь электроэнергии для выбранного участка или всей электрической сети, указанной конфигурации, за определенный период времени.

D. Планирование развития сети

Используется для создания сценариев по развитию и предполагаемой реконструкции рассматриваемой сети. Сценарии планирования (набор проектов на временные периоды) моделируются в реальном времени.

E. Анализ качества электроэнергии

Задача используется с целью обнаружения нарушений, аварийных состояний и получения отчетов об общих характеристиках состояния электрической сети (генерируемой и потребляемой электрической энергии, потерях электроэнергии, значениях и отклонениях напряжений, перегрузках и т.д.).

F. Оптимизация режима сети по напряжению и реактивной мощности

Необходима для управления напряжением (оптимальный уровень напряжений) и оптимизации реактивного потока мощности для обеспечения наилучшего уровня напряжения и минимизации перетоков реактивной мощности.

G. Оптимизация (реконфигурация) сети

Выбирает оптимальную конфигурацию (состояние коммутационных аппаратов) электрической сети по выбранному критерию оптимальности (минимальные потери, максимальная надежность, количество отклонений от нормальной схемы сети).

H. Краткосрочный прогноз нагрузки

Используется при прогнозировании распределения нагрузок узлов на основе опыта и статистических показателей.

I. Ограничение недопустимого потребления

Используется для ограничения режима потребления в случае возникновения аварийных электроэнергетических режимов из-за дефицита мощности, недопустимых отклонений напряжения или перегрузках при отсутствии резервов мощности в соответствии с графиками аварийных ограничений режима потребления.

J. Улучшение рабочих характеристик

Формирует оценку соблюдения установленных параметров качества электроэнергии в реальном времени. Оценка осуществляется в выбранных узлах потребления электроэнергии и формируется отчет несоответствий за необходимый интервал времени и рекомендации по улучшению рабочих характеристик.

K. Управление коммутационными аппаратами

Формирует последовательности матриц состояний коммутационных аппаратов в соответствии с правилами переключений при изменении рабочего состояния распределительной системы в реальном времени.

L. Расчет и анализ токов короткого замыкания

Обеспечивает вычисление параметров отказа (напряжений и токов повреждения), а также осуществляет анализ сети в состоянии отказа (моделирование выбранного типа отказа во всех узлах сети).

M. Определение места повреждения (ОМП)

Используется с целью быстрой оценки и локализации вероятно неисправного фидера или ЛЭП электрической сети и вычисления места повреждения ЛЭП. Локализация поврежденного участка выполняется по данных ответной реакции оборудования системы обнаружения отказов (индикаторы отказов, регистраторы отказов, система релейной защиты, система обеспечения надежности участков и т.д.). Поиск места повреждения ЛЭП рассчитывается на основании одно- или двухстороннего замера тока и напряжения и параметров элементов электрической сети.

N. Эквивалентирование участка сети

Предполагает вычисление эквивалентных сопротивлений участка электрической сети, относительно граничных узлов.

O. Поиск элементов сети

- Определение путей электроснабжения элемента сети.
- Поиск и определение возможных топологических вариантов (фидеров) для альтернативного электроснабжения.
- Поиск состояния элементов сети (с разделением элементов сети с энергоснабжением и без энергоснабжения).
- Поиск всех элементов в нисходящем направлении по отношению к выбранному элементу сети.
- Поиск «местной сети» - определение первых, вторых и т.д. смежных фидеров по отношению к выбранному элементу сети.
- Поиск возможных топологических вариантов для альтернативного электроснабжения.

Задачи передаются в систему АРЭС от приложений по протоколу HTTP. Для обеспечения безопасности передачи данных используется шифрование в соответствии с протоколом SSL. Полученные задачи регистрируются системой АРЭС в журнале и помещаются в очередь на выполнение. Информация о текущем состоянии задач и результаты их решения предоставляются по запросу от удаленных приложений.

Возможно одновременное выполнение нескольких задач. Количество одновременно решаемых задач определяется в зависимости от производительности технических средств системы.

Исходные данные задач и результаты их решения представляются в формате CIM в соответствии со стандартами IEC 61968/61970.

III. Описание расчета установившихся режимов

Одним из основных компонентов системы АРЭС является модуль расчета установившихся режимов электроэнергетической системы. Данный модуль является основополагающим при анализе и оптимизации состояния электроэнергетической системы.

Задача определения параметров установившихся режимов ЭС математически формулируется как решение системы алгебраических уравнений:

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{B} \qquad (1)$$

где $\mathbf{A}$ – матрица коэффициентов, отражающая физическую структуру соединений электрической сети, $\mathbf{B}$ – текущие известные параметры сети и $\mathbf{x}$ – текущие неизвестные параметры сети.

Наиболее простой в реализации способ описания режимов ЭС в виде (1) дает метод узловых потенциалов [1, 2]:

$$\underline{\mathbf{Y}}_{\text{узл}}\dot{\mathbf{U}}_{\Delta} = \dot{\mathbf{J}} \qquad (2)$$

позволяющей найти вектор искомых напряжений $\dot{\mathbf{U}}_{\Delta}$ в узлах сети относительно базисного узла путем решения системы алгебраических уравнений ЭС в матричной форме

$$\dot{\mathbf{U}}_{\Delta} = \underline{\mathbf{Y}}^{-1}_{\text{узл}}\dot{\mathbf{J}} \qquad (3)$$

где $\underline{\mathbf{Y}}_{\text{узл}}$ – матрица узловых проводимостей; $\dot{\mathbf{J}}$ – вектор задающих токов в узлах.

Матрица узловых проводимостей $\underline{\mathbf{Y}}_{\text{узл}}$ представляет собой систему простых топологических соотношений расчётной электрической сети в матричной форме, которые вытекают из метода узловых потенциалов [3].

В общем виде матрица узловых проводимостей расчетной сети определяется из выражения вида:

$$\underline{\mathbf{Y}}_{\text{узл}} = \mathbf{C}\underline{\mathbf{Z}}^{-1}\mathbf{C}^{\mathrm{T}} \qquad (4)$$

где $\mathbf{C}$ матрица $m \times n$ соединений графа электрической сети; $\underline{\mathbf{Z}}$ – матрица $m \times m$ сопротивлений ветвей графа, n и m – число узлов и ветвей графа.

Матрица соединений $\mathbf{C}$ –одна из форм представления графа, в которой указываются связи между инцидентными ее элементами (ребро и вершина). Столбцы матрицы соответствуют ребрам, строки – вершинам. Ненулевое значение в ячейке матрицы указывает связь между вершиной и ребром.

Главная диагональ матрицы сопротивлений $\underline{\mathbf{Z}}$ формируется из матриц сопротивлений элементов сети (линий электропередач, генераторов, трансформаторов и т.д.) [4-6]. В зависимости от решаемой задачи и класса напряжения для одного и того же элемента сети могут использоваться разные матрицы сопротивлений. Матрицы

сопротивлений учитывают следующие особенности элементов сети:

- взаимную индуктивность параллельных линий;
- группы соединения трансформаторов;
- емкостные проводимости элементов;
- потери линии на корону и т.д.

При расчете режимов в электрических сетях 0.4-6 кВ предусмотрен учет активных и индуктивных сопротивлений всех элементов, включая трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей, сопротивления клемм и т.д.

В зависимости от решаемой задачи возможно два варианта формирования вектора токов $\dot{\mathbf{J}}$ в узлах.

Для решения задач анализа установившегося режима вектор $\dot{\mathbf{J}}$ рассчитывается по значениям генерируемых и потребляемых мощностей в узлах. При этом уравнение (3) становится нелинейным. Тогда для определения параметров установившегося режима используются методы последовательной итерации Зейделя и Ньютона-Рафсона [1, 2].

Для решения задач анализа аварийных режимов вектор токов $\dot{\mathbf{J}}$ в узлах определяется как сумма токов от источников, присоединенных к соответствующим узлам. Токи источников определяются по их сверхпереходным параметрам. При этом система уравнений (3) будет линейной.

Фазное представление математической модели сети позволяет учитывать неограниченное число одновременных повреждений. Возможно моделирование следующих видов повреждений:

- замыкания на землю;
- междуфазные замыкания;
- замыкания через переходное сопротивление;
- замыкания в нескольких точках сети;
- обрывы фаз;
- обрывы фаз с одновременным замыканием.

На основе рассчитанных потенциалов в узлах (3), определяются токи в ветвях:

$$\dot{\mathbf{I}} = \underline{\mathbf{Y}}_{\text{вет}} \dot{\mathbf{U}}_{\Delta} \qquad (5)$$

где $\underline{\mathbf{Y}}_{\text{вет}}$ - матрица проводимостей участка сети, в ветвях которой необходимо определить токи; $\dot{\mathbf{U}}_{\Delta}$ - вектор напряжений в узлах соответствующего участка сети.

IV. Выводы

Разработанная система АРЭС может быть использован при реализации концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью, а также как компонент усовершенствованной системы управления распределительными сетями (DMS). Преимуществом организации системы АРЭС в качестве веб-сервиса является возможность применения расчетного сервиса при решении прикладных задач электроэнергетики. Данные, передаваемые по протоколам SSL, надежно шифруются, что обеспечивает конфиденциальность используемых данных. Обмен данными между приложениями и веб-сервисом АРЭС осуществляется в соответствии со стандартами IEC 61968/61970, что предусматривает перспективу применения веб-сервиса в российской, а в последствии и в мировой электроэнергетической системе.

Список литературы

[1] Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. – с. 592

[2] Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Учебное пособие. –Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – с. 715

[3] Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – с. 528

[4] M. S. Chen and W. E. Dillon. Power system modeling, Proc. IEEE, vol. 93, no. 7, pp. 901–915, 1974

[5] Н. Хэнкок Матричный анализ электрических машин. Перевод с английского Г.С. Тамояна. – Москва: Энергия, 1967. –с. 224

[6] Воропай Н.И. Упрощение математических моделей динамики электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 1981. – с. 112