

Шамис Михаил Александрович,
к.т.н., генеральный директор ЗАО «ЭнЛАБ», г. Чебоксары, e-mail: shamis.m@ennlab.ru,
Иванов Федор Анатольевич,
заместитель технического директора ЗАО «ЭнЛАБ»,
Коновалов Юрий Васильевич,
к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: yrvaskon@mail.ru

**СОВРЕМЕННЫЕ АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**
Shamis M.A., Ivanov F.A., Kononov Y.V.

Modern hardware and software tools for researchers in the area of relay protection and automatization devices of power systems

Аннотация. В статье рассмотрены возможности современных программных и программно-аппаратных симуляторов для моделирования процессов в электроэнергетических системах в нормальных и аварийных режимах. Рассмотрены области их применения в учебном процессе и в сфере дополнительного образования на примере специализированного учебного стенда.

Ключевые слова: программно-аппаратный симулятор энергосистем, имитационное моделирование, учебные стенды, переходные процессы в электроэнергетических системах.

Abstract. Possibilities of modern software and hardware-software simulators of power systems in transient modes are considered in the article. There are areas of the simulators application in the educational process and in the sphere of advanced training with use special laboratory bench explored in the article.

Keywords: software and hardware simulator of power systems, simulation modeling, laboratory bench, transient processes in electric power systems, normal and emergency modes.

Современные электроэнергетические системы (ЭС), включающие в себя электрические станции, магистральные сети и сети распределения имеют весьма сложную структуру. При их эксплуатации, обслуживании и модернизации требуется учитывать множество факторов и эксплуатационных параметров устанавливаемого оборудования. Это задача еще более усложняется с внедрением новых технологий, таких как гибкие системы передачи переменного тока и вставки постоянного тока, интеллектуальные распределительные сети, малые генерирующие установки на возобновляемых источниках, а также в связи с широким распространением интеллектуальных систем управления и защиты с "нелинейными" алгоритмами действий. Учет всех параметров энергосистемы стал очень сложной задачей и требует применения современных инструментов и методов исследований. Особенно это важно в переходных аварийных режимах с целью обеспечения надежной работы микропроцессорных устройств и комплексов релейной защиты и автоматики (РЗА), где требуется верификация рассчитанных уставок и тестирование выбранных алгоритмов и логики работы. Из-за сложности проведения таких проверок на действующих объектах электроэнергетики широко применяют-

ся методы имитационного моделирования на базе виртуальных моделей исследуемых ЭС. За последние годы, устаревшие системы моделирования на аналоговых принципах были практически полностью заменены цифровыми симуляторами, использующими численное моделирование электрических процессов. Современные симуляторы ЭС представлены в виде программных или программно-аппаратных средств и широко используются для исследований ЭС и устройств непрерывного и дискретного управления.

Программно-аппаратный симулятор RTDS

Одним из самых известных в мире симуляторов ЭС, пришедшим на замену электродинамическим моделям, стали программно-аппаратные симуляторы реального времени RTDS, производства компании RTDS Technologies Inc. (Канада). Поколения этих симуляторов, первое из которых было выпущено в 1993 году, сменяли друг друга вслед за развитием вычислительной техники, и в 2017 году вышла в свет новая платформа NovaCor, которая показана на рисунке.

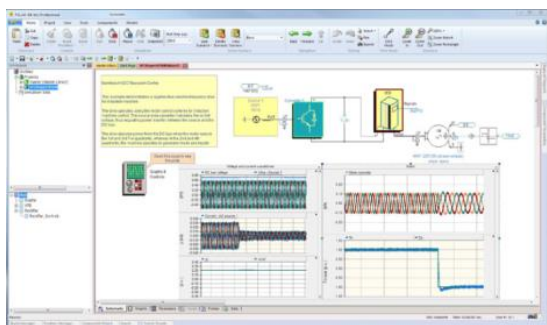
Симулятор RTDS позволяет осуществлять моделирование электрических сетей и станций в режиме реального времени и обеспечивает взаимодействие с подключенным к нему оборудова-

нием по аналоговым и дискретным каналам обратной связи, а также по каналам телемеханики. Это дает возможность эффективно проводить программно-аппаратное тестирование вторичного оборудования, например, систем релейной защиты и автоматики или автоматических регуляторов возбуждения синхронного генератора.

Симуляторы RTDS широко применяются энергетическими компаниями, разработчиками устройств РЗА, систем возбуждения и систем силовой электроники, научными и образовательными учреждениями. Более 300 комплексов RTDS используются сейчас в 40 странах, из них 9 комплексов на российских предприятиях: НИУ «МЭИ», НТЦ ФСК ЕЭС, НТЦ ЕЭС, «ЭКРА», «ВНИИР», «ТЕКОН» и др.

Применение RTDS позволяет лучше представить переходные процессы в энергосистемах, плотнее увязать эти процессы с функционированием вторичной аппаратуры. RTDS дает возможность моделировать различные аварии любой сложности, развитие которых не является заранее предопределенным. Симуляторы дают возможность качественно повысить уровень подготовки персонала служб РЗА и специалистов по системам АСУ ТП. Являясь универсальным устройством, RTDS позволяет заменить целый ряд специализированных тренажеров.

Программный симулятор PSCAD



Схожим с RTDS по назначению и области применения является симулятор PSCAD от компании Manitoba HVDC Research Centre (Канада). Симулятор PSCAD предназначен для исследований электромагнитных и электромеханических переходных процессов в системах постоянного и переменного тока и позволяет составлять модели систем генерации, передачи и распределения электрической энергии. В отличие от RTDS симулятор PSCAD использует вычислительную мощность персонального компьютера. Хотя это не позволяет выполнять симу-



ляцию в реальном времени, но снимает ограничения с размера моделируемой ЭС, а также допускает использование произвольного шага расчета, даже на уровне наносекунд при исследованиях сверхбыстрых процессов. Программная среда PSCAD также имеет дружелюбный многооконный пользовательский интерфейс и позволяет создавать модели ЭС в виде электрической схемы, что очень удобно для моделирования электрооборудования, электрических станций и сетей. Симулятор PSCAD состоит из модуля пошагового выполнения расчетов EMTDC, обширной библиотеки элементов,

средств ввода данных и средств отображения полученных результатов в разнообразном виде.

В настоящее время симулятор PSCAD применяется в 85 странах более чем в 4000 организациях, из них около 20 из России: НИУ "МЭИ", "ТПУ", Новосибирский и Нижегородский государственные технические университеты и мн. др. Применение PSCAD помогает студентам получить целостное представление о работе ЭС, а использование PSCAD в лабораторных занятиях дает возможность увидеть переходные процессы в ЭС и лучше понять зависимость её функционирования от различных факторов.

Стенд для изучения устройств РЗА

Функциональные возможности симулятора PSCAD позволяют использовать его для тестирования реальных устройств РЗА. Основываясь на этой возможности, предприятие ЗАО «Эн-ЛАБ» (г. Чебоксары) разработало лабораторный стенд SLC1 для изучения устройств РЗА.

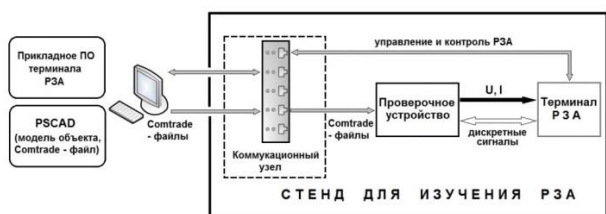
Рассматриваемый стенд представляет собой комплекс технических и программных средств, обеспечивающих моделирование ЭС и ее элементов в нормальных и аварийных режимах для изучения функционирования микропроцессорных РЗА производства НТЦ «Мехатроника» и приобретения навыков по расчету и выбору их уставок. В состав стенда входят следующие устройства РЗА:

- блок релейной защиты и автоматики трансформаторов БМРЗ-ТД;
- блок основных и резервных защит синхронных и асинхронных двигателей БМРЗ-УЗД;
- блок релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации линий БМРЗ-152-КСЗ;

- блок автоматической разгрузки по частоте и напряжению БРЧН-100.

Прикладное ПО, поставляемое в комплекте с терминалами РЗА, используется для настройки их параметров функционирования, задания уставок, мониторинга и просмотра записей о зарегистрированных авариях и осциллограмм. В качестве проверочного устройства используется прибор РЕТОМ-61. Стенд укомплектован коммуникационным оборудованием по сети Ethernet, обеспечивающим возможность дистанционного управления и контроля терминалами и проверочным устройством в ходе выполнения лабораторных работ с рабочих мест обучающихся.

Функциональная схема стенда приведена на рисунке.



Методика проведения лабораторных работ с использованием стенда требует от учащихся выполнения следующих действий:

- Создание на персональном компьютере в симуляторе PSCAD модель ЭС с элементами электрических присоединений и моделирование аварийных режим на одном из ее участков. Запись в Comtrade–файл полученных при моделировании переходных процессов, включая состояние коммутационных аппаратов.
- Расчет уставок и выбор режима функционирования устройства РЗА.
- Выполнение электрических подключений проверочного устройства РЕТОМ-61 к выбранному устройству РЗА по аналоговым и дискретным каналам.
- Задание уставок в устройстве РЗА, воспроизведение Comtrade-файла. Анализ функционирования терминала РЗА в переходном режиме по записям в журнале

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамис М.А. Использование современных симуляторов энергосистем для изучения электротехники и энергетики // ЭнергоStyle. 2017. №3(39).PSCAD User's Guide: Ver.4.6, Manitoba HVDC Research Centre, 2017. <https://hvdc.ca/>
2. PSCAD User's Guide: Ver.4.6, Manitoba HVDC Research Centre, 2017. <https://hvdc.ca/>



аварий с персонального компьютера, подключенного к стенду. Оформление и предоставление отчета по лабораторной работе.

В процессе выполнения лабораторных работ на стенде учащиеся приобретают навыки:

- по созданию в PSCAD виртуальных моделей ЭС, состоящих из источников, воздушных линий электропередач, выключателей, трансформаторов, реакторы, электродвигатели и т.д.;
- по моделированию в PSCAD нормальных и аварийных режимов работы ЭЭС и записи переходных процессов в Comtrade файл;
- расчету уставок и заданию параметров функционирования устройства РЗА в условиях применения, определяемых моделируемой ЭС;
- по управлению проверочным устройством РЕТОМ-61;
- проверке функционирования устройств РЗА, анализу их действий во время аварийных процессов.

Выводы

Лабораторный стенд на основе симулятора PSCAD характеризуется высокой степенью соответствия сигналов, воздействующих на РЗА, с реальными процессами в ЭС. Это позволяет учащимся теснее увязать функционирование РЗА с первичными процессами в ЭС, приобрести не только знания теории, но и практические навыки, и в тоже время имеет меньшую стоимость по сравнению с профессиональным симулятором RTDS.

Симуляторы позволяют решать широкий спектр технических задач без необходимости проведения сложных, дорогостоящих и опасных натурных испытаний, сократить сроки пилотной эксплуатации вторичного оборудования на энергетических объектах. Эти комплексы существенно упрощают процедуры аттестации различных видов вторичной аппаратуры, повышают объективность аттестации.