## Обновление средств



имитационного моделирования энергосистем

Михаил Шамис, к.т.н., генеральный директор ЗАО «ЭнЛАБ»; Фёдор Иванов, заместитель технического директора ЗАО «ЭнЛАБ»

В последние годы большую популярность среди специалистов-электроэнергетиков приобрел программный симулятор PSCAD для моделирования переходных процессов в электроэнергетических системах (ЭС), чему способствуют следующие его качества: наглядность, информативность, простота использования, быстрота получения решения, а также максимальная ориентированность на решение электротехнических задач и способность моделирования ЭС практически любой сложности.

Возможности PSCAD стали широко востребованы учащимися вузов при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ [1]. В новом 2021 году выходит новая версия симулятора — PSCAD V5. Группа разработчиков провела большую работу по расширению возможностей симулятора, улучшению процесса вычислений, а также по учету запросов, которые были получены от пользователей PSCAD из более чем 90 стран. Данная статья призвана подробнее рассказать о симуляторе PSCAD V5 и о его новых возможностях.

Перед разработчиками PSCAD V5 стояла задача расширить область применения симулятора с целью моделирования больших ЭС. При указанных исследованиях много времени занимают подготовительные процедуры по созданию модели ЭС. Для эффективной работы над такими проектами были разработаны вспомогательные приложения к PSCAD, которые позволяют импортировать модели ЭС из других симуляторов, адаптировать их и выполнять постобработку больших массивов полученных данных:

• PRSIM™ — программная среда для импорта моделей из таких известных симуляторов расчетов режимов работы ЭС, как PSS/E и PowerFactory. При импорте моделей также переносятся данные о динамических характеристиках элементов ЭС, сведения о симметричных составляющих и протяженности ЛЭП, а также информация об эквивалентных сопротивлениях участков сети и потокораспределениях в установившихся режимах.

• PSCAD Initializer — вспомогательная программная среда расчета установившегося состояния ЭС с целью использования этих данных для инициализации модели PSCAD в первоначальный момент симуляции. Это позволяет проводить исследование быстрых переходных процессов, начиная с устойчивого предаварийного состояния ЭС, в котором напряжения на шинах, фазовые сдвиги, положение регуляторов возбуждения и частоты и многие другие параметры заранее выставлены в положение «точки покоя».

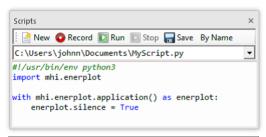


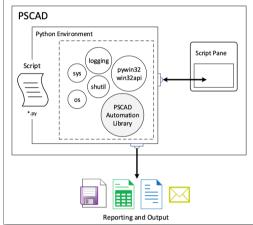
• Enerplot™ — дополнительная программная среда для автоматизации и обработки по заданному сценарию результатов расчетов, она может легко обрабатывать большие объемы данных и имеет мощный математический аппарат, систему визуализации графиков, удобные инструменты для сопоставления и сравнения кривых.

Рост производительности обычных настольных компьютеров с многоядерными процессорами был успешно использован разработчиками PSCAD V5 для увеличения скорости симуляции. Был оптимизирован вычислительный процесс, добавлена возможность параллельных вычислений на нескольких ядрах и на нескольких отдельных компьютерах, увеличено число возможных элементов, модулей, каналов вывода данных в модели и многое другое.

Среди множества изменений и нововведений в PSCAD V5 хотелось бы отметить следующие:

1. Предусмотрена интеграция с языком Python, за счет чего симулятор получил мощный инструментарий по созданию сценариев моделирования, обработки данных и формирования отчетов.





- 2. Реализован новый двоичный формат сохранения данных. Это позволяет компактно сохранять результаты расчетов, включая результаты многоразовой симуляции, в виде одного файла.
- 3. Введена многоязыковая поддержка, в том числе на кириллице, для оформления комментариев на полях модели.



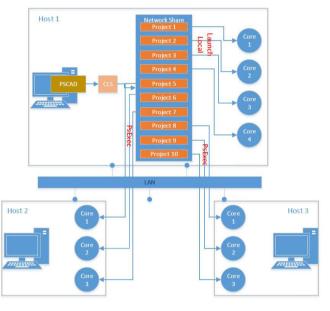
4. Обеспечивается совместная симуляция PSCAD с внешним пользовательским приложением через интерфейс API, что позволяет проводить гибридную симуляцию больших ЭС. При этом режимный симулятор, например, ETAP, выполняет расчеты с шагом 1–2 мс в фазных координатах для большой ЭС, содержащей сотни тысяч узлов, а симулятор PSCAD производит расчеты небольшого участка в мгновенных значениях с шагом расчета около 50 мкс. Такой гибридный подход позволяет выпол-

## Co-Simulation



нять анализ устойчивости ЭС при быстрых переходных процессах с учетом инерционности основной и прилегающих ЭС.

- 5. Улучшено моделирование воздушных и кабельных линий электропередач (ЛЭП). Как и раньше, симулятор автоматически рассчитывает взаимоиндукцию в коридоре ЛЭП, содержащем до 30 проводников, с учетом их фазочастотных характеристик. В новой версии добавлена возможность разделения одной ЛЭП на участки с произвольным соотношением их длины, чтобы имитировать КЗ вдоль линии.
- 6. Появились новые удобства при рисовании схем: тянущиеся связи, огибающие переходы в местах пересечения, а также новый дизайн окна управления параметрами компонентов и проекта целиком, улучшена анимация состояния компонентов, окна графиков, меню навигации. Повышено качество копируемых в отчет изображений модели.
- 7. Введен новый тип переменных для комплексных чисел, а также поддержка этого типа в библиотеке математических функций.
- 8. Появилась возможность многократно сократить время симуляции модели за счет параллельных вычислений с использованием многоядерных процессоров одного или нескольких компьютеров. Система управления вычислениями автоматически разделяет задание на моделирование на максимум 64 параллельных процесса для каждого ядра вычислительного кластера. Технология параллельных вычислений особенно эффективна при симуляции больших ЭС и при многократной симуляции одной и той же модели в различных начальных условиях MultiRun.



- 9. Расширена библиотека компонентов и в нее добавлены новые элементы: трансформаторы, однофазные электродвигатели, насыщаемые реакторы, новые системы возбуждения генераторов по стандарту IEEE 2016 г., мостовые включения электронных ключей и системы формирования импульсов зажигания для них, множество элементов для систем управления и преобразования и многое другое.
- 10. Важным для пользователей моментом PSCAD V5 является то, что стоимость новой профессиональной версии PSCAD V5 повысилась незначительно, а вузы могут бесплатно перейти к PSCAD V5 на имеющихся у них образовательных лицензиях.

Обновленный симулятор PSCAD V5 существенно расширил границы применения имитационного моделирования и позволяет выполнять исследования быстрых переходных процессов в единых ЭС целых стран. Для этого PSCAD V5 получил целый ряд новых вспомогательных приложений, функций и возможностей. Библиотека компонентов симулятора была заметно расширена, и в ней появились новые компоненты и модели электрооборудования, которые позволяют выполнять исследований на новом уровне.