

УДК 621.311.001.57

АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Чуприков Т.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

Цифровое моделирование современных электроэнергетических систем в настоящее время является неотъемлемой частью повседневной исследовательской деятельности. Ниже перечислены некоторые наиболее важные сферы применения цифрового моделирования энергосистем:

- релейная защита и автоматика энергосистем;
- управление напряжением и частотой источников питания;
- крупномасштабное моделирование в реальном времени для создания моделей крупных энергосистем;
- обучение и профессиональная подготовка.

Время, необходимое для полного цифрового расчета, зависит от различных факторов, таких как размеры моделируемой энергосистемы, характеристики анализируемых переходных процессов, число точек наблюдения и, наконец, в большой степени, от производительности используемых компьютеров. В общем, основываясь на временном критерии можно выделить два типа моделирования.

Время вычисления каждого временного интервала превышает время, необходимое для смоделированного процесса на самом деле, таким образом, моделирование в целом может занимать несколько секунд или даже минут. Такого рода моделирование осуществляется в автономном режиме и называется автономным или независимым моделированием. Результаты обычно сохраняются в файлах, например, в формате Comtrade – это международный формат записи осциллограмм, предназначенный для хранения информации о значениях и параметрах электрических сигналов, и отображаются графически в виде временных диаграмм для последующего анализа или воспроизведения на специальном испытательном оборудовании и аналоговых усилителях непосредственно в тестируемое оборудование.

Время вычисления равно или меньше каждого временного шага в моделируемом процессе. Таким образом, результат каждого временного шага доступен в оперативном режиме в реальном времени, как если бы процесс запускался в естественной среде в реальной энергосистеме. Результат также можно сохранить в файлах и просмотреть позднее в графическом виде или воспроизвести различными способами, но самым большим преимуществом моделирования в реальном времени является возможность объединения в замкнутый цикл различного аппаратного обеспечения и изучения его функционирования, как если бы данное аппаратное обеспечение было установлено непосредственно в реальной энергосистеме. Такой вид моделирования называется цифровым моделированием замкнутого цикла в реальном времени (CSRTDS). Одним из важных требований, предъявляемых к данному виду моделирования, является строгий контроль временных шагов на протяжении всего времени в заданных пределах, в противном случае полученные результаты могут оказаться недостоверными.

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Моделирование не в реальном времени не требует высокопроизводительных компьютеров, сохраненные файлы можно позднее воспроизвести на испытательном оборудовании, используя различные промежуточные аппаратные средства, например, усилители тока и напряжения, когда речь идет о проверке защиты. Недостатком является то, что нет возможности проанализировать непосредственный отклик смоделированной системы на определенные воздействия со стороны испытательного оборудования во время конкретного события. С другой стороны,

автономное моделирование дает возможность проанализировать чрезвычайно быстрые переходные процессы, которые невозможно смоделировать сегодня из-за очень коротких временных интервалов даже с использованием самых лучших компьютеров.

В области РЗА моделирование позволяет наглядно изучить принципы и особенности работы элементов энергетической системы, закрепить теоретические знания, полученные из учебников и специализированной литературы. Кроме того, компьютерная техника позволяет выполнить модель реального устройства релейной защиты и автоматики и проанализировать его поведение в различных режимах работы защищаемого объекта. Такой подход полезен как при разработке цифровых устройств, так и в процессе их наладки и эксплуатации.

Одним из наиболее эффективных инструментов, позволяющих выполнить всестороннее моделирование работы энергосистемы и устройства РЗА, в настоящее время является пакет прикладных программ MatLab. Библиотека блоков SimPowerSystems является дополнительной библиотекой Simulink и содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. Комбинируя возможности Simulink и SimPowerSystems, пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств. В частности, пользователь имеет возможность рассчитать установившийся режим работы системы на переменном токе, выполнить расчет полного сопротивления участка цепи, получить частотные характеристики, проанализировать устойчивость, а также выполнить гармонический анализ токов и напряжений. Несомненным достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электротехнические системы можно моделировать, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Такой подход позволяет значительно упростить всю модель, а значит, повысить ее устойчивость и скорость работы. Кроме того, в модели с использованием блоков SimPowerSystems можно использовать блоки и остальных библиотек Simulink, а также функции самого MatLab, что дает практически неограниченные возможности для моделирования электротехнических систем. Библиотека SimPowerSystems достаточно обширна. В том случае, если все же нужного блока в библиотеке нет, пользователь имеет возможность создать свой собственный блок как с помощью уже имеющихся в библиотеке блоков, реализуя возможности Simulink по созданию подсистем, так и на основе блоков основной библиотеки Simulink и управляемых источников тока или напряжения.

Одним из наиболее функционально насыщенных является программный комплекс PSS®E, разработанный Siemens PTI. Программный комплекс PSS®E предназначен для расчета и анализа режимов работы электроэнергетических систем в установившемся и динамических режимах. Комплекс позволяет проводить всесторонний анализ работы системы в целом: линий электропередач, генерирующих источников, силового оборудования подстанций с целью нахождения оптимального режима их работы. Кроме того, он оказывает неоценимую помощь при проектировании новых объектов энергосистем как в части выбора параметров силового оборудования в нормальных режимах эксплуатации, так и в прогнозировании наиболее критичных, аномальных режимов работы сети. Программа позволяет моделировать аварийные режимы, такие как различные виды коротких замыканий, несимметрий в узлах сети и промежуточных точках оборудования энергосистемы. Программа позволяет провести детерминированный и вероятностный анализ надёжности. Для исследования динамической устойчивости системы в программе есть дополнительный модуль, позволяющий графически отобразить режимную информацию при различных видах возмущений.

Программный комплекс ETAP компании Operation Technology, Inc. (OTI) является комплексным инструментом для детального анализа систем переменного и постоянного токов. Базовый пакет ETAP представляет собой набор инструментов, встроенных расчетных модулей и инженерных библиотек, которые позволяют создавать, настраивать и управлять моделью энергосистемы. Базовые инструменты позволяют с легкостью создать однолинейную схему трехфазной или однофазной сети переменного или постоянного тока с

неограниченным количеством присоединений и элементов, включая детализированное представление измерительных приборов и компонентов системы заземления. Инженерные библиотеки включают полностью проверенные и утвержденные данные, основанные на опубликованных производителем параметрах оборудования.

Модуль расчёта установившегося режима ЕТАР позволяет провести расчёт установившегося режима для электрической схемы созданной вами электроэнергетической сети и отобразить на схеме результаты расчёта. Одновременно с расчётом производится проверка входящего в схему оборудования и соответствие результатов расчётным условиям. При несоответствии параметров оборудования или расчётных условий результатам расчёта ЕТАР генерирует сигналы предупреждения о нарушениях в системе. Выполненный расчёт может быть экспортирован в виде множества отчётов в различные сторонние программы, можно рассчитывать различные варианты схемы и сравнивать между собой их результаты с помощью анализатора.

Модуль расчёта коротких замыканий ЕТАР представляет собой автоматизированный комплекс по расчёту коротких замыканий в электроэнергетических системах. Он позволяет повысить производительность расчётов в сложных системах, экономя время и обеспечивая точные и надёжные результаты за короткое время. Автоматически составляется схема замещения для расчета короткого замыкания для всех точек энергосистемы. ЕТАР позволяет рассчитать короткие замыкания при различных типах повреждений в сетях с различными режимами заземления нейтрали, определить мгновенные, установившиеся токи и токи отключения короткого замыкания. Токи короткого замыкания определяются как результат подпитки со стороны всех входящих в систему источников, в том числе и от двигателей.

Модуль согласования устройств РЗА ЕТАР предоставляет возможность осуществлять эффективную координацию устройств релейной защиты в сетях переменного и постоянного тока. Построение схем защит осуществляется с помощью инструментов графического дизайнера однолинейных схем. ЕТАР поддерживает множество типов устройств защиты и коммутационных аппаратов, с помощью которых можно построить любую схему релейной защиты. Обширная библиотека устройств включает в себя оборудование ведущих мировых производителей. В случае необходимости, ЕТАР позволяет добавить в библиотеку отсутствующее в ней оборудование с нужными вам характеристиками. Встроенная система визуализации времятоковых характеристик обеспечивает эффективное задание уставок выбранных устройств защиты. В состав модуля входит функция определения последовательности срабатывания устройств защиты и коммутационных аппаратов, включающая в себя встроенный анализ коротких замыканий, пуска двигателей и графические средства визуализации последовательности срабатывания устройств. Также, модуль позволяет определить зоны действия защит. Кроме того, модуль РЗА позволяет производить тестирование реальных реле путём их подключения к ЕТАР через специальный интерфейс, позволяя проводить сравнение характеристик реле с данными, измеряемыми в установленном режиме и во время переходного процесса. Результаты такого тестирования обеспечивают правильность срабатывания реле, в частности – при токах короткого замыкания, содержащих затухающие аperiodические и колебательные компоненты.

ЕТАР предоставляет набор модулей для анализа динамических процессов в электроэнергетических системах. С их помощью ЕТАР позволяет моделировать различные изменения в схеме и производить расчёты для выбранного временного диапазона с учётом динамических моделей элементов.

Программный комплекс моделирования энергосистем PSCAD компании «ЭнЛАБ» является быстродействующим, точным и удобным инструментом для моделирования работы энергосистем и силовых электронных преобразователей при их проектировании, анализе, оптимизации и верификации. Программа PSCAD с модулем моделирование переходных процессов EMTDC предоставляет широкий выбор инструментов и богатую библиотеку компонентов для глубокого анализа работы энергооборудования.

PSCAD/EMTDC позволяет провести исследования переходных процессов в электроэнергетических системах, включая короткие замыкания, автоматическое повторное включение, броски тока, феррорезонанс, анализ потокораспределения и переходных процессов для взаимосвязанных энергосистем, как, например, включение нового оборудования, учёт пропускной способности, аварийных ограничений, оценка технических возможностей передачи и т. д.

Построение и изменение модели выполняется в графическом виде, характеристики и свойства каждого элемента модели задаются в виде табличных данных. Готовая модель наглядна, понятна для анализа и проверки, а для удобства работы она может быть многослойной: на главном слое сложные объекты представлены в виде укрупненных объектов, входя в которые можно увидеть детальное строение объекта.

Экспорт и импорт сигналов производится в форматах RTP, COMTRADE. Пользователи имеют возможность создавать в PSCAD собственные компоненты, которые могут быть представлены в виде «черного ящика» с собственным алгоритмом работы, описанным на языке высокого уровня (C++, Fortran, MatLab/Simulink и пр.). По файлам аварийных процессов, смоделированных в PSCAD, можно проводить проверку устройств РЗА.

PSCAD ориентирован на специалистов энергетиков и электротехников, и его использование для моделирования энергосистем предоставляет персоналу множество преимуществ:

- всесторонние исследования работы реального оборудования в условиях, максимально электрически близких к тем, которые имеют место в реальных энергосистемах;
- возможность разработки и отладки алгоритмов действия устройств управления, регулирования и защиты;
- возможность создания крупномасштабных моделей сетей с расчетом распределения потоков энергии;
- моделирование быстродействующих процессов, таких как удары молнии, пробой изоляции изоляторов, восстановление прочности промежутка в дугогасительной камере.

Внедрение новых технологий в современные энергосистемы – чрезвычайно ответственный шаг, оказывающий влияние не только на техническую сферу, но и на социально-экономические отношения в человеческом обществе. Для этого необходимы чрезвычайно высокое качество инструментальных средств, используемых для тестирования и разработки. Хорошо известно, что качество конкретного моделирования никогда не будет выше качества менее точной модели элемента энергосистемы, используемой в пределах всей смоделированной сети. В связи с этим, очень важно выбирать правильный инструментарий, с положительными отзывами, полученными по результатам надежной эксплуатации большого числа установок по всему миру. Можно ожидать, что с развитием цифровых компьютерных технологий будут развиваться и цифровые модели энергосистем, а моделируемые системы будут увеличиваться в объемах.

Литература

1. Моделирование энергосистем в реальном времени с использованием RTDS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://digitalsubstation.com/blog/2013/12/02/modelling>. – Дата доступа : 19.04.2018.
2. Новаш, И.В. Моделирование энергосистем и испытание устройств релейной защит в режиме реального и модельного времени / И.В. Новаш // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2017. – Т. 60. – № 3. – С. 198–210.
3. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 288 с.