

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Плющев Б.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент РУМЯНЦЕВ В.Ю.

В результате воздействия различных факторов, современные энергосистемы становятся все более сложными, что во многом связано с необходимостью учета экономических и экологических аспектов. С этой точки зрения, внедрение новых технологий является необходимым условием прогресса, начиная, например, с применения управляемых силовых электронных устройств в сетях переменного и постоянного тока. Все вышеперечисленное, как правило, способствует повышению устойчивости системы, однако без их надежного функционирования энергосистема, может стать неустойчивой. Одним из способов обеспечения наиболее оперативной разработки и тестирования с сохранением высокого качества выполняемой работы является использование так называемого моделирования энергосистемы в реальном времени.

Цифровое моделирование энергосистемы в реальном времени с физическим подключением вторичного оборудования к модели на сегодняшний день является надежным, эффективным и проверенным методом, применяемым для разработки, тестирования, оптимизации вторичного электрооборудования, а также обучения персонала различных специальностей сектора электроэнергетики.

В 1969 году Герман Доммель опубликовал свою работу *Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single-and Multiphase Networks*. Это был революционный шаг в цифровом (компьютерном) моделировании (в реальном и не в реальном времени) электромагнитных переходных процессов в энергосистемах. Появилась возможность перехода от электромеханических и статических моделей к цифровым, что позволило увеличить частоту различных событий, наблюдаемых в энергосистеме.

Основная идея алгоритма Доммеля является идеальной для компьютерного вычисления:

- Преобразовать задаваемую пользователем энергосистему в эквивалентную сеть, состоящую только из источников тока и резисторов (рисунок 1).
- Сформулировать матрицу проводимостей для эквивалентной сети (рисунок 1).
- Используя данные предыдущего временного шага (или исходные условия для первого временного шага), рассчитать новые значения для токов.
- Найти напряжения, используя новые значения тока.
- Рассчитать токи в ответвлении, используя новые значения напряжения и тока.
- Повторить шаги 3–5.

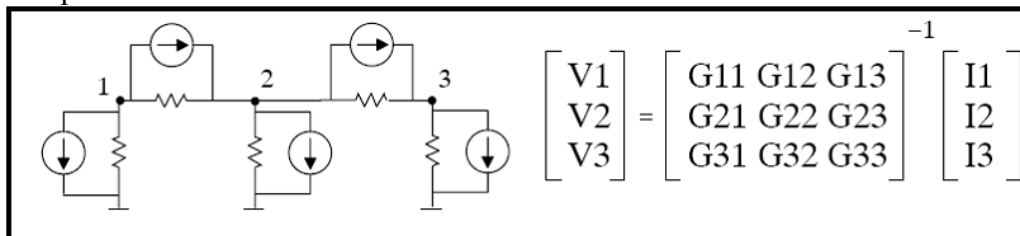


Рисунок 1 – Эквивалентная сеть, состоящая только из источников тока и резисторов с соответствующей матрицей проводимостей

Устройство цифрового моделирования энергосистемы в режиме реального времени (*Real Time Digital Simulator – RTDS*) – симулятор энергосистемы, разработанный в Исследовательском центре силовых систем постоянного тока провинции Манитоба (Виннипег, Канада) в конце 80-х годов прошлого столетия. Система обеспечивает непрерывное моделирование электромагнитных переходных процессов в режиме жесткого реального времени на базе алгоритма Доммеля.

Область применения комплексов:

- для исследований электромагнитных и электромеханических переходных процессов в электрических сетях, генераторах и нагрузках;
- для проверки и исследований вторичного оборудования в режиме реального времени с жесткой обратной связью: проверка функционирования комплексов РЗА в реальных условиях; исследование поведения энергосистем при работе РЗА; разработка новых алгоритмов РЗА; уточнение уставок;
- для исследования и разработки силовых полупроводниковых комплексов: преобразователей постоянного тока; тиристорных схем; тиристорных коммутаторов устройств последовательной компенсации;
- для исследования работы энергосистем при изменении их конфигурации;
- для разработки и проверки новых стратегий управления объектами энергетики;
- для обучения и тренингов персонала, в том числе операторов центров управления режимами электростанций, энергоустановок и сетей;
- для изучения поведения операторов в экстремальных ситуациях;
- для изучения поведения и оптимизации энергосистем при «холодном» пуске;
- для записи и воспроизведения длинных файлов.

В основе принципа действия комплекса *RTDS* лежит принцип параллельных вычислений, что позволяет комплексу моделировать энергосистему в режиме жесткого реального времени (рисунок 2). Моделирование проводится с шагом по времени dt равным 50 мкс для энергосистемы в общем и 1–3 мкс для быстродействующей электронной аппаратуры. Участки схемы и компоненты модели распределяются между процессорными модулями *PB5*. Чем больше задействовано процессорных модулей, тем более крупную модель можно исследовать. Взаимосвязи (*IRC*) между вычислительными модулями позволяют использовать всю мощность комплекса *RTDS*.

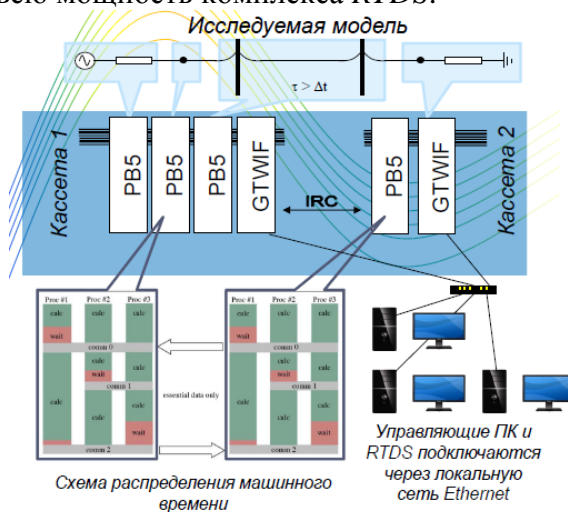


Рисунок 2 – Система параллельных вычислений

Особенности моделирования в реальном времени с помощью *RTDS*: используются параллельные вычисления на нескольких процессорах (в традиционном компьютерном моделировании обычно используется один вычислительный процессор); темп выполнения расчетов задается высокостабильным тактовым генератором; моделирование поведения системы в течение, например, 1 с выполняется ровно 1 с; в системах жесткого реального времени все расчеты, необходимые для определения состояния модели и обработка состояний портов ввода/вывода, завершаются строго в течение заданного шага расчета (в традиционном компьютерном моделировании продолжительность расчетов на каждом шаге значительно больше заданного шага).

Порядок работы с комплексом *RTDS*:

– Разработка модели. Разработка модели энергосистемы производится посредством графического редактора в среде *RSCAD* на ПК (рисунок 3), не связанном с *RTDS*. После завершения разработки модели ПК подключается к *RTDS*.

– Отладка модели. Отладка модели осуществляется посредством сравнения результатов моделирования с результатами аналитических расчетов, с результатами, полученными на ранее проверенных моделях, с экспериментальными данными. Имеется возможность легкого и быстрого переключения симулятора от одного пользователя к другому.

– Исследование оборудования. К отлаженной модели подключается исследуемое оборудование.

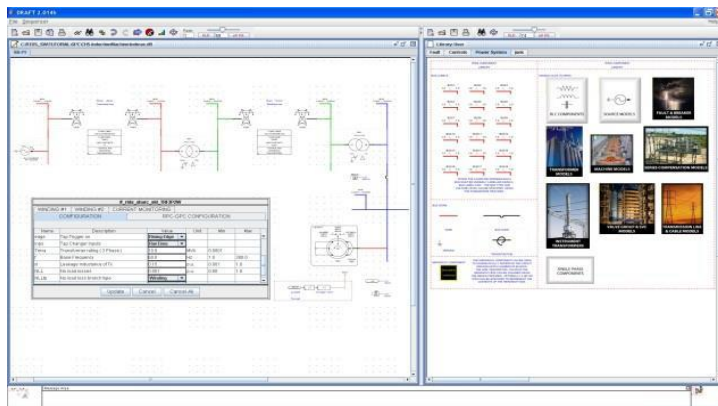


Рисунок 3 – Графический редактор RSCAD

Аппаратное обеспечение симулятора *RTDS* включает в себя: специально разработанный базовый процессорный модуль параллельных вычислений; кассетно-модульную конструкцию (от 1 до 6 процессорных модулей с процессорами, 1 модуль интерфейса рабочей станции; несколько программируемых модулей сетевых интерфейсов); модули ввода и вывода дискретных аналоговых сигналов для сопряжения с физическими устройствами; модуль синхронизации расчетов по сигналам точного времени и формирования тактовых сигналов для подключенных устройств РЗА.

Программное обеспечение *RTDS* имеет несколько уровней. Нижний уровень представлен моделями компонентов (например, линии, трансформаторы, генераторы и т. д.), оптимизированных к режиму работы в реальном времени. Высокий уровень программного обеспечения представлен графическим интерфейсом пользователя, так называемым *RSCAD*, который позволяет создавать, запускать, эксплуатировать схемы моделирования, а также фиксировать и документировать результаты.

Модуль *RSCAD Draft* позволяет создавать имитационные модели графически, путем копирования и соединения компонентов из библиотеки. После создания компоновки сети она компилируется для формирования имитационного кода, необходимого для работы симулятора. Сразу по завершении компиляции процесс имитационного моделирования может запускаться посредством блока *RSCAD RunTime*. Программный блок *RunTime* обменивается по сети данными с платами *GTWIF* симулятора в прямом и обратном направлениях. Двусторонняя связь позволяет загружать и запускать имитационные модели, а также передавать результаты моделирования на экран *RunTime*.

Комплексы *RTDS* – это мощный инструмент для решения инженерных и исследовательских задач в энергетике и электротехнике. При помощи данных комплексов можно проводить всесторонние испытания вторичного оборудования в условиях, максимально близких к реальным. С распространением и принятием технологии цифрового моделирования в реальном времени все больше производителей, энергопредприятий и институтов используют *RTDS* для тестирования в замкнутом цикле систем защиты и управления, а также для моделирования в реальном масштабе времени.